

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТОКОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ ТУННЕЛЬНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ОТРАБОТКИ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ГРАВИТАЦИОННЫХ АНТЕНН

Ил.С. Голяк<sup>1,2</sup>  
А.Н. Морозов<sup>1,2</sup>  
А.Л. Назолин<sup>1,2</sup>  
М.А. Строков<sup>2</sup>

iliyagol@bmstu.ru  
amor@bmstu.ru  
nazolin@bmstu.ru  
makstrokov@yahoo.com

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрена необходимость учета неконтролируемых внешних воздействий при проведении долговременных экспериментов. Указанные воздействия могут привести к ошибочным результатам при выполнении фундаментальных экспериментов по регистрации гравитационных волн, солнечного радиоизлучения, измерениях нейтринных потоков астрофизического происхождения и т. д. Приведены результаты долговременных исследований токовых флуктуаций туннельных диодов. В экспериментах использовали арсенидгаллиевые туннельные диоды 3И306Г и 3И201К. Установлено влияние на них внешних неконтролируемых воздействий, таких как температура воздуха, атмосферное давление и поток солнечного излучения, и, возможно, связанного с изменением атмосферного давления потока нейтронов. Наблюдается запаздывание отклика туннельных диодов на изменение температуры воздуха и атмосферное давление примерно на 10...100 ч и опережение по отношению к изменению потока нейтронов на 19 ч. Расчет периодограммы установил наличие изменений дисперсии токовых флуктуаций с периодом 718...720 мин, что соответствует второй гармонике от собственного вращения Земли. Показана небольшая корреляция дисперсий изменений токовых флуктуаций для двух независимых, расположенных на удалении друг от друга стенов с туннельными диодами.

### Ключевые слова

*Гравитационные антенны, туннельные диоды, токовые флуктуации, солнечное излучение, атмосферное давление, поток нейтронов, корреляционные функции*

---

Полученные результаты необходимо учитывать Поступила 14.04.2023  
при проведении долговременных экспериментов Принята 24.04.2023  
на гравитационных антеннах © Автор(ы), 2024

---

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 19-29-11015мк «Разработка макета комплекса для отработки процесса получения и обработки информации с комплекса лазерных интерференционных гравитационных антенн наземного и космического базирования»)*

**Введение.** Реализуемые в настоящее время проекты поиска гравитационных волн предполагают проведение долговременных записей сигналов, регистрация и обработка которых требует создания информационно-измерительных систем, обладающих повышенной степенью защищенности к внешним воздействиям [1–4]. Для решения этой проблемы разрабатываются различные системы сбора и обработки данных с лазерных интерференционных гравитационных антенн [5, 6].

Аналогичные проблемы возникают и при регистрации долговременных флуктуаций токовых шумов в электролитах и туннельных диодах [7–10]. Долговременная регистрация вариаций электродных потенциалов используется для установления нелокальных корреляций крупномасштабных природных диссипативных процессов в глубоководных экспериментах в о. Байкал [11–14]. Более 70 лет ведутся непрерывные измерения вариаций потоков солнечного излучения в радиодиапазоне [15, 16]. Долговременные записи применяются при поиске нейтрино астрофизического происхождения [17, 18].

Опыт проведения долговременных экспериментов и обработки их результатов показывает, что внешние неконтролируемые воздействия на экспериментальную установку зачастую невозможно предсказать заранее. Соответственно, и невозможно заблаговременно от этих воздействий заэкранироваться.

Проведение долговременных регистраций токовых шумов на достаточно простых датчиках позволяет выявить основные внешние воздействия, которые могут помешать проводить измерения на лазерных интерференционных гравитационных антеннах. К таким внешним воздействиям относятся атмосферное давление и температура атмосферы, радио- и световое излучение Солнца, нейтронные и мюонные потоки и т. д.

**Результаты долговременной записи токовых флуктуаций в эксперименте с туннельными диодами ЗИ306Г.** Долговременные измерения проводились с использованием стенда, включающего в себя четыре установки с арсенид-галлиевыми переключательными туннельными дио-

дами 3И306Г, которые размещены в отдельных металлических коробках. На диоды подавалось одинаковое постоянное напряжение (49 мВ). Каждый диод был включен в схему преобразователя ток–напряжение, полученные флуктуации напряжения усиливались с использованием пятикаскадного операционного усилителя с коэффициентом усиления  $10^5$  раз. Усилитель также выполнял функцию фильтра с полосой пропускания 5...15 кГц. Далее полученные с диодов сигналы с помощью 16-битного аналого-цифрового преобразователя NI PXIe-6356 с частотой оцифровки 30 кГц считывались ЭВМ и обрабатывались. Все четыре экспериментальные установки с туннельными диодами функционировали независимо друг от друга.

Установки располагались в термостабилизированной камере (термостат суховоздушный ТВ-80), которая обеспечивала поддержание стабильной температуры  $T_k = 20,0 \pm 0,1$  °С. Температура внутри камеры измерялась с помощью термодатчика, что подтвердило поддержание стабильной температуры в указанном диапазоне. Для измерения влажности воздуха внутри камеры применялся датчик относительной влажности НИН-4000-004, который обеспечивал точность измерения до  $\pm 1$  %.

Долговременные непрерывные измерения проводились в период с 16 декабря 2020 года по 23 января 2023 года в течение 18 456 ч. Для оценки влияния температуры воздуха и атмосферного давления использовались данные, взятые с сайта «Погода и климат»<sup>1</sup> для метеостанции Москвы, расположенной на территории ВДНХ (индекс WMO: 27612) в 8 км от экспериментальных установок.

По результатам измерений токовых флуктуаций рассчитывались их дисперсии с периодом усреднения 1 мин и с последующим усреднением за 1 ч. Результаты измерения влажности усреднялись аналогично.

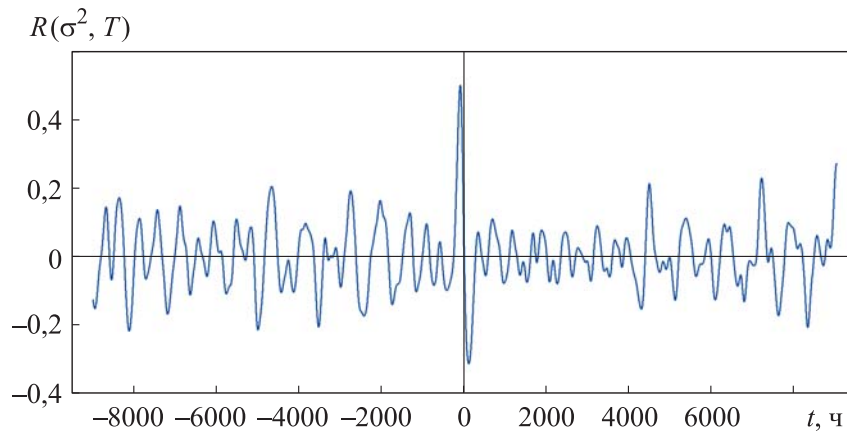
Вычисленные по экспериментальным данным дисперсии токовых флуктуаций четырех туннельных диодов и датчика влажности подвергались низкочастотной фильтрации и нормировке с использованием временного окна с периодом 600 ч [19, 20]:

$$\tilde{X}_i = \left( X_i - \sum_{j=i-600}^{j=i+600} \left( \frac{\sin(\pi(j-i)/600)}{\pi(j-i)/600} X_j \right) \right) / \left( \sum_{j=i-600}^{j=i+600} \left( \frac{\sin(\pi(j-i)/600)}{\pi(j-i)/600} X_j \right) \right).$$

<sup>1</sup> [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru)

При дальнейшем анализе учтено влияние влажности на результаты измерений путем вычитания из результатов расчета дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций значений влажности внутри термостабилизированной камеры, в которой размещались экспериментальные установки [9]. Затем рассчитывались средние значения дисперсии токовых флуктуаций, полученных с четырех независимых экспериментальных установок.

Корреляционная функция  $R(\sigma^2, T)$  полученных в эксперименте результатов по измерению дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций и данных по температуре воздуха  $T$  приведена на рис. 1. Хорошо заметна корреляция этих величин. При этом результаты измерения токовых флуктуаций запаздывают относительно температуры воздуха примерно на 110 ч.



**Рис. 1.** Корреляционная функция дисперсии токовых флуктуаций и температуры воздуха

Корреляционная зависимость дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций и производной температуры воздуха  $dT$  по времени показана на рис. 2. Наблюдается отрицательная корреляция этих величин с запаздыванием дисперсии токовых флуктуаций относительно производной температуры воздуха примерно на 36 ч.

В эксперименте также наблюдалась небольшая корреляция дисперсии токовых флуктуаций и атмосферного давления с запаздыванием около 60 ч.

В соответствии с приведенными зависимостями использование термостабилизированной камеры, внутри которой температура поддерживается с высокой точностью, не гарантирует изоляцию измерительной установки от изменений внешней температуры воздуха на улице.

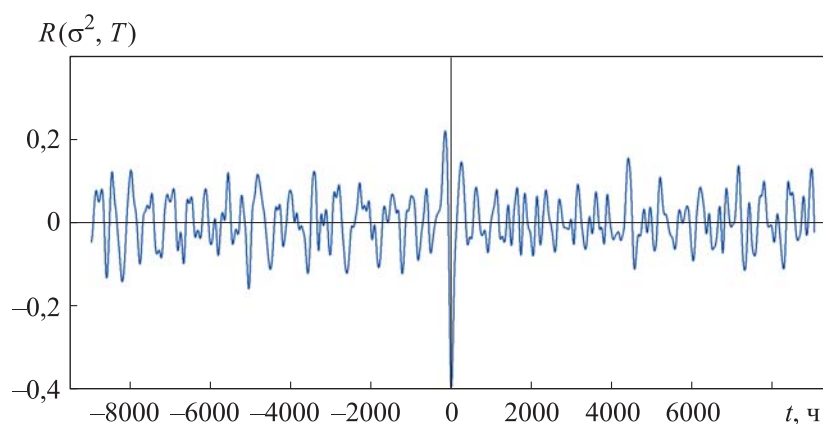


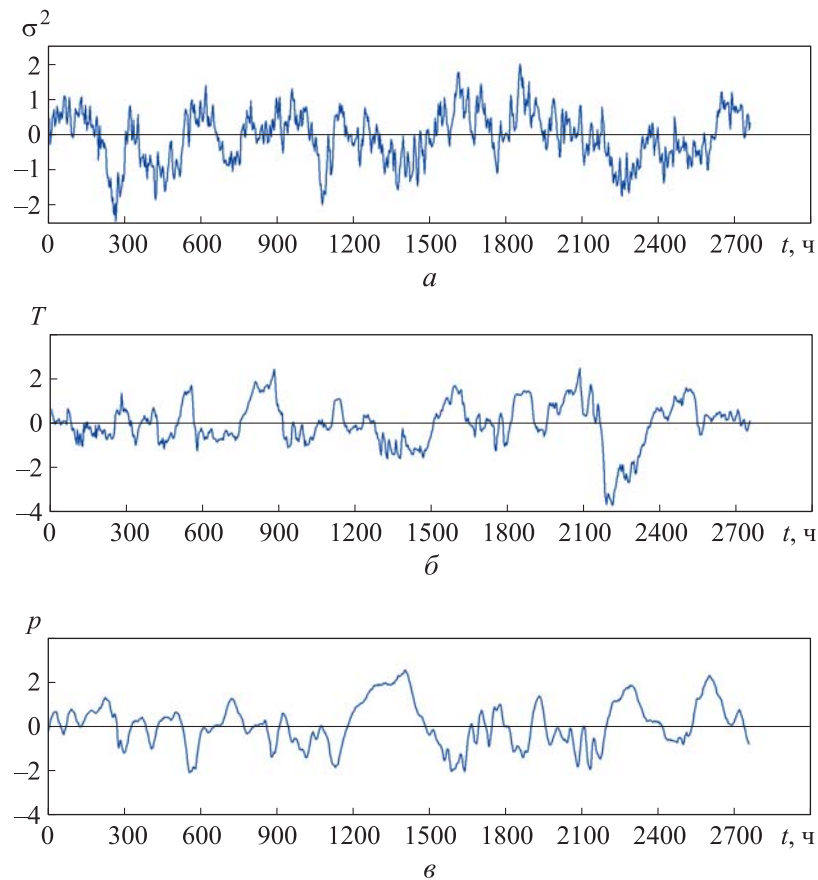
Рис. 2. Корреляционная функция дисперсии токовых флуктуаций и производной температуры воздуха

**Результаты долговременной записи токовых флуктуаций в эксперименте с туннельными диодами 3И201К.** Для проведения долговременных экспериментов с арсенид-галлиевыми генераторными туннельными диодами 3И201К изготовлен стенд с четырьмя одинаковыми установками, которые размещались на расстоянии примерно 1 км от стенда с туннельными диодами 3И306Г. Отличие этих установок от установок с диодами 3И306Г заключалось в том, что на туннельные диоды подавалось напряжение 0,134 В, была изменена полоса фильтрации на усилителях до 5...50 кГц, использован четырехканальный 24-битный аналого-цифровой преобразователь ADLINK MCM-100/Win10 с частотой оцифровки 120 кГц. Все установки находились в термостабилизированной камере ТВ-20-ПЗ-«К», в которой поддерживалась температура  $T_k = 60,0 \pm 0,1$  °С. Обработка результатов осуществлялась по описанной выше методике, за исключением коррекции на влажность воздуха, которая в этих установках не измерялась.

Долговременные эксперименты проводились в период с 7 октября 2022 года по 29 января 2023 года в течение 2 760 ч. В результате выхода из работы одной из установок усреднение проводилось по трем, которые остались работоспособными.

Графики усредненной по трем установкам дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов  $\sigma^2$ , температуры воздуха на улице  $T$  и атмосферного давления  $p$  приведены на рис. 3. Для удобства графики отнормированы на единичное значение их дисперсии.

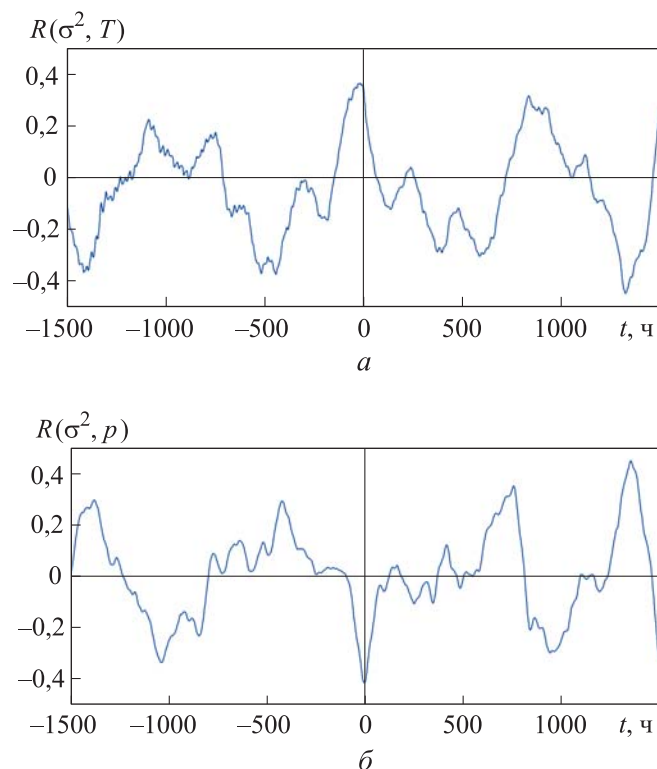
Дисперсия токовых флуктуаций туннельных диодов имеет положительную корреляцию с температурой воздуха и отрицательную с атмосферным давлением.



**Рис. 3.** Графики дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов (*a*), температуры воздуха (*б*) и атмосферного давления (*в*)

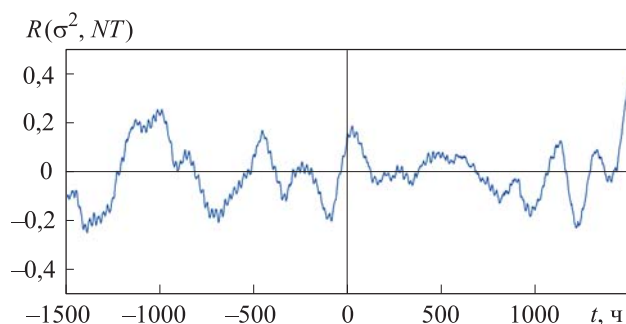
Наличие указанных корреляций подтверждается приведенными на рис. 4 корреляционной функцией дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций туннельных диодов и температуры воздуха на улице  $T$ , а также корреляционной функцией дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций туннельных диодов и атмосферного давления  $p$ .

Взаимная корреляция дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов и температуры воздуха положительная, а корреляция функции дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов и атмосферного давления — отрицательная. Наблюдается запаздывание для дисперсии токовых флуктуаций относительно изменения температуры воздуха на 18 ч, для дисперсии токовых флуктуаций относительно изменения атмосферного давления — на 6 ч. Имеет место периодичность корреляций с периодом 800...1000 ч.



**Рис. 4.** Корреляционные функции дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов и температуры воздуха (а), атмосферного давления (б)

Незначительная корреляция (рис. 5) также наблюдается между дисперсией  $\sigma^2$  токовых флуктуаций туннельных диодов и данными по потоку нейтронов  $NT$ , измеренными Московским нейтронным монитором (ИЗМИРАН<sup>2</sup>, Троицк, Москва).



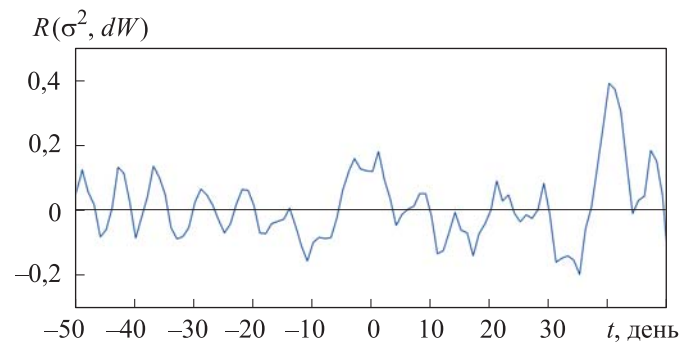
**Рис. 5.** Корреляционная функция дисперсии токовых флуктуаций и потока нейтронов

<sup>2</sup> <http://cr0.izmiran.ru/mosc>

Следует отметить, что в рассматриваемом случае изменения дисперсии токовых флуктуаций опережают изменения потоком нейтронов на 19 ч. Указанная корреляция может быть связана не с воздействием потока нейтронов, а с влиянием на этот поток атмосферного давления.

Проведено сопоставление изменений дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов и мощности солнечного излучения, средние значения которых взяты с сайта LISIRD<sup>3</sup>. Для сопоставления измерений результаты измерений  $\sigma^2$ , приведенные на рис. 3, а, усреднены за 1 сут.

Корреляционная функция дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций туннельных диодов и производной по времени мощности солнечного излучения  $dW$  приведена на рис. 6. Наблюдается небольшая корреляция токовых флуктуаций и солнечного излучения при нулевом временном сдвиге.



**Рис. 6.** Корреляционная функция дисперсии токовых флуктуаций и производной мощности солнечного излучения

Кроме описанного исследования, выполнен спектральный анализ первичных поминутных записей, усредненных по трем работающим установкам. Периодограмма в диапазоне 600...800 мин изменений дисперсии  $\sigma^2$  токовых флуктуаций туннельных диодов показана на рис. 7.

Достаточно явно наблюдается наличие изменений дисперсии с периодом 718...720 мин. Этот период  $\tau_0$  соответствует второй гармонике от частоты собственного вращения Земли. Кроме того, заметна небольшая по интенсивности гармоника с периодом около 45 мин.

Следовательно, результаты проведенного анализа указывают на наличие внешних воздействий на туннельные диоды, которые необходимо учитывать при проведении долговременных экспериментов.

<sup>3</sup> [https://lasp.colorado.edu/lisird/data/tsis\\_tsi\\_24hr](https://lasp.colorado.edu/lisird/data/tsis_tsi_24hr)



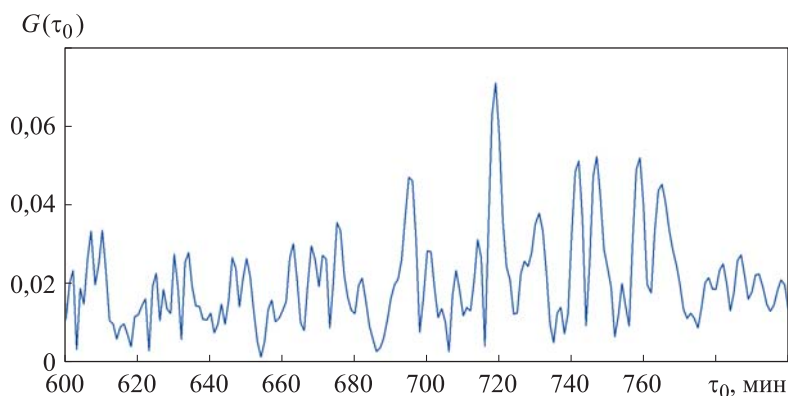


Рис. 7. Периодограмма изменений дисперсии токовых флуктуаций

**Взаимная корреляция дисперсии токовых флуктуаций, зарегистрированных на двух независимых стендах.** Для оценки возможной корреляции изменений дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов, размещенных на двух независимых стендах на расстоянии примерно 1 км, рассчитывалась корреляционная функция дисперсий для первой ( $\sigma_1^2$ ) и второй ( $\sigma_2^2$ ) серий экспериментов. Продолжительность одновременных измерений составляла с 7 октября 2022 года по 23 января 2023 года (2 616 ч).

Корреляционная функция, из которой следует наличие небольшой корреляции результатов экспериментов и периодичность корреляций с периодом 800...1000 ч, приведена на рис. 8.

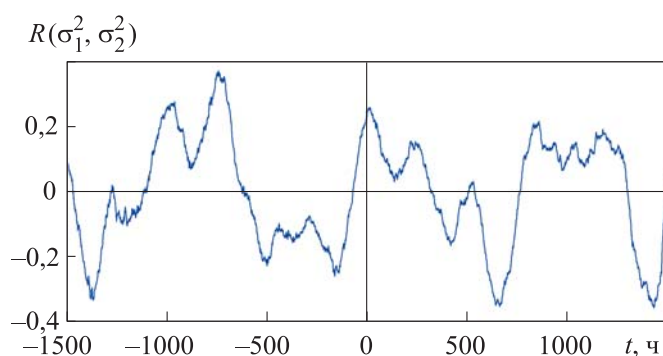


Рис. 8. Корреляционная функция изменения дисперсий, зарегистрированных в двух независимых сериях экспериментов

**Заключение.** Выполненные серии долговременных экспериментов по регистрации токовых флуктуаций туннельных диодов подтверждают наличие внешних неконтролируемых воздействий на них. Этот факт

необходимо учитывать при проведении долговременных записей с гравитационных антенн.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пустовойт В.И. О непосредственном обнаружении гравитационных волн. *УФН*, 2016, т. 186, № 10, с. 1133–1152.  
DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.03.037900>
- [2] Grote H., Danzmann K., Dooley K.L., et al. First long-term application of squeezed states of light in a gravitational-wave observatory. *Phys. Rev. Lett.*, 2013, vol. 110, iss. 18, art. 181101. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.181101>
- [3] Abbott B.P., Abbott R., Adhikari R., et al. LIGO: The laser interferometer gravitational-wave observatory. *Rep. Prog. Phys.*, 2009, vol. 72, no. 7, art. 076901.  
DOI: <https://doi.org/10.1088/0034-4885/72/7/076901>
- [4] Accadia T., Acernese F., Astone P., et al. A state observer for the Virgo inverted pendulum. *Rev. Sci. Instrum.*, 2011, vol. 82, iss. 9, art. 094502.  
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3637466>
- [5] Голяк И.С., Морозов А.Н., Назолин А.Л. и др. Разработка информационно-измерительного комплекса для регистрации высокочастотных гравитационных волн. *Радиостроение*, 2020, № 3, с. 35–49.  
DOI: <https://doi.org/10.36027/rdeng.0320.0000172>
- [6] Голяк И.С., Морозов А.Н., Назолин А.Л. и др. Информационно-измерительный комплекс для регистрации высокочастотных гравитационных волн. *Радиостроение*, 2020, № 5, с. 42–51.  
DOI: <https://doi.org/10.36027/rdeng.0520.0000184>
- [7] Морозов А.Н. Результаты долговременных измерений флуктуации напряжения на электролитических ячейках. *Радиооптика*, 2015, № 6, с. 62–76.
- [8] Морозов А.Н. Воздействие метеорологических факторов на длиннопериодные вариации меры Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2015, № 4 (61), с. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>
- [9] Голяк Ил.С., Морозов А.Н., Строков М.А. Экспериментальные исследования долговременных вариаций влажности в термостабилизированной камере. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2020, № 3 (90), с. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2020-3-71-77>
- [10] Голяк Ил.С., Морозов А.Н., Строков М.А. Исследование долговременных флуктуаций тока в электролитических ячейках и туннельных диодах. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2022, № 4 (103), с. 50–58.  
DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-4-50-58>
- [11] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Новые результаты мониторинга вертикальной компоненты электрического поля в озере Байкал на базе поверхности–дно. *Геомагнетизм и аэронавигация*, 2015, т. 55, № 3, с. 406–418.  
DOI: <https://doi.org/10.7868/S001679401502011X>

- [12] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Новые результаты Байкальского эксперимента по прогностическому эффекту макроскопических нелокальных корреляций. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2019, № 4 (85), с. 56–72. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2019-4-56-72>
- [13] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Макроскопические нелокальные корреляции по данным новых глубоководных измерений. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2021, № 2 (95), с. 52–70. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2021-2-52-70>
- [14] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Проявление вариаций солнечного рентгеновского излучения в вертикальной компоненте электрического поля в озере Байкал. *Геомагнетизм и аэронавигация*, 2021, т. 61, № 2, с. 211–217.
- [15] Бруевич Е.А., Бруевич В.В., Якунина Г.В. Циклические вариации потоков солнечного излучения в начале XXI века. *ВМУ. Сер. 3. Физика. Астрономия*, 2018, № 2, с. 93–99.
- [16] Sharma R., Oberoi D. Propagation effects in quiet sun observations at meter wavelengths. *Astrophys. J.*, 2020, vol. 903, no. 2, art. 126. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abb949>
- [17] Plavin A, Kovalev Y.T., Kovalev Y.A., et al. Observational evidence for the origin of high-energy neutrinos in parsec-scale nuclei of radio-bright active galaxies. *Astrophys. J.*, 2020, vol. 894, no. 2, art. 101. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab86bd>
- [18] Allakhverdyan V.A., Avrorin A.D., Avrorin A.V., et al. Diffuse neutrino flux measurements with the Baikal-GVD neutrino telescope. *Phys. Rev. D*, 2023, vol. 107, iss. 4, art. 042005. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.107.042005>
- [19] Morozov A.N. Nonlocal influences of natural dissipative processes on the Kullback measure of voltage fluctuations on an electrolytic cell. *NeuroQuantology*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 477–483.
- [20] Коротаев С.М., Морозов А.Н. Нелокальность диссипативных процессов — причинность и время. М., ФИЗМАТЛИТ, 2018.

**Голяк Илья Семенович** — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник НИЧ НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); старший научный сотрудник АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Морозов Андрей Николаевич** — член-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); генеральный директор АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Назолин Андрей Леонидович** — д-р техн. наук, профессор РАН, старший научный сотрудник НИЧ НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1); начальник отдела АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Строков Максим Анатольевич** — инженер АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Голяк Ил.С., Морозов А.Н., Назолин А.Л. и др. Исследование влияния внешних воздействий на токовые флуктуации туннельных диодов для отработки системы регистрации гравитационных антенн. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2024, № 1 (112), с. 63–77. EDN: ERBOFD

**EXTERNAL INFLUENCES EFFECT ON THE TUNNEL DIODES  
CURRENT FLUCTUATIONS FOR TESTING  
THE GRAVITATIONAL ANTENNA REGISTRATION SYSTEM**

**I.S. Golyak**<sup>1,2</sup>

**A.N. Morozov**<sup>1,2</sup>

**A.L. Nazolin**<sup>1,2</sup>

**M.A. Strokov**<sup>2</sup>

iliyagol@bmstu.ru

amor@bmstu.ru

nazolin@bmstu.ru

makstrokov@yahoo.com

<sup>1</sup> **Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

<sup>2</sup> **Center of Applied Physics, Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation**

**Abstract**

The paper considers the necessity to account for the uncontrolled external influences in conducting the long-term experiments. These influences are able to cause erroneous results in fundamental experiments aimed at registering gravitational waves and solar radio emission, measuring neutrino fluxes of the astrophysical origin, etc. Long-term research results of the tunnel diodes current fluctuations are presented. The 3I306G and 3I201K Gallium arsenide tunnel diodes were used in the experiments. Uncontrolled external influences effecting them was established, they included air temperature, atmospheric pressure and solar radiation flux, and, probably, the neutron flux associated with alterations in the atmospheric pressure. A delay was observed in the tunnel diodes response to alterations

**Keywords**

*Gravitational antennas, tunnel diodes, current fluctuations, solar radiation, atmospheric pressure, neutron flux, correlation functions*

in the air temperature and atmospheric pressure by approximately 10–100 hours, as well as an advance in relation to alterations in the neutron flux by 19 hours. Periodogram classification established alteration in the current fluctuations dispersion with the period of 71–720 minutes, which corresponded to the second harmonic from the Earth's proper rotation. Insignificant correlation was shown between variances of alterations in the current fluctuations for two independent stands with the tunnel diodes positioned at a distance from each other. The results obtained should be taken into account in long-term experiments with the gravitational antennas

Received 14.04.2023

Accepted 24.04.2023

© Author(s), 2024

---

*The work was supported by the RFBR grant (project no. 19-29-11015mk "Development of a complex layout for testing the process of receiving and processing information from a complex of ground-based and space-based laser interference gravitational antennas")*

## REFERENCES

- [1] Pustovoyt V.I. On the direct detection of gravitational waves. *Phys. Usp.*, 2016, vol. 59, no. 10, pp. 1034–1051. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2016.03.037900>
- [2] Grote H., Danzmann K., Dooley K.L., et al. First long-term application of squeezed states of light in a gravitational-wave observatory. *Phys. Rev. Lett.*, 2013, vol. 110, iss. 18, art. 181101. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.110.181101>
- [3] Abbott B.P., Abbott R., Adhikari R., et al. LIGO: The laser interferometer gravitational-wave observatory. *Rep. Prog. Phys.*, 2009, vol. 72, no. 7, art. 076901. DOI: <https://doi.org/10.1088/0034-4885/72/7/076901>
- [4] Accadia T., Acernese F., Astone P., et al. A state observer for the Virgo inverted pendulum. *Rev. Sci. Instrum.*, 2011, vol. 82, iss. 9, art. 094502. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3637466>
- [5] Golyak I.S., Morozov A.N., Nazolin A.L., et al. Information-measuring complex development for detecting high-frequency gravitational waves. *Radiostroenie* [Radio Engineering], 2020, no. 3, pp. 35–49 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36027/rdeng.0320.0000172>
- [6] Golyak I.S., Morozov A.N., Nazolin A.L., et al. Information-measuring complex for registration high frequency gravitational waves. *Radiostroenie* [Radio Engineering], 2020, no. 5, pp. 42–51 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36027/rdeng.0520.0000184>
- [7] Morozov A.N. Results of long-term measuring tension fluctuation on electrolytic cells. *Radiooptika* [Radiooptics of the Bauman MSTU], 2015, no. 6, pp. 62–76 (in Russ.).

- [8] Morozov A.N. The influence of meteorological factors on the long-period variation of the Kullback measure of voltage fluctuations on the electrolytic cells. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, no. 4 (61), pp. 57–66 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>
- [9] Golyak I.S., Morozov A.N., Stokov M.A. Experimental investigation of long-term humidity variations in a thermally stabilised chamber. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2020, no. 3 (90), pp. 71–77 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2020-3-71-77>
- [10] Golyak I.S., Morozov A.N., Stokov M.A. Investigating long-term electric current fluctuations in electrolytic cells and tunnel diodes. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2022, no. 4 (103), pp. 50–58 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-4-50-58>
- [11] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Recent results of monitoring of the vertical component of the electrical field in Lake Baikal on the surface-bed base-line. *Geomagn. Aeron.*, 2015, vol. 55, no. 3, pp. 398–409. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0016793215020115>
- [12] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. New results of the Baikal experiment on forecasting effect of macroscopic nonlocal correlations. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2019, no. 4 (85), pp. 56–72 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2019-4-56-72>
- [13] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Macroscopic nonlocal correlations in the data obtained in new deep-water measurements. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2021, no. 2 (95), pp. 52–70 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2021-2-52-70>
- [14] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Manifestation of variations of solar X-ray radiation in the vertical component of the electric field in lake Baikal. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 2021, vol. 61, no. 2, pp. 211–217 (in Russ.).
- [15] Bruevich E.A., Bruevich V.V., Yakunina G.V. Cyclic variations in the solar radiation fluxes at the beginning of the 21st century. *Moscow Univ. Phys.*, 2018, vol. 73, no. 2, pp. 216–222. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0027134918020030>
- [16] Sharma R., Oberoi D. Propagation effects in quiet sun observations at meter wavelengths. *Astrophys. J.*, 2020, vol. 903, no. 2, art. 126. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/abb949>
- [17] Plavin A, Kovalev Y.T., Kovalev Y.A., et al. Observational evidence for the origin of high-energy neutrinos in parsec-scale nuclei of radio-bright active galaxies. *Astrophys. J.*, 2020, vol. 894, no. 2, art. 101. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab86bd>
- [18] Allakhverdyan V.A., Avrorin A.D., Avrorin A.V., et al. Diffuse neutrino flux measurements with the Baikal-GVD neutrino telescope. *Phys. Rev. D*, 2023, vol. 107, iss. 4, art. 042005. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.107.042005>

[19] Morozov A.N. Nonlocal influences of natural dissipative processes on the Kullback measure of voltage fluctuations on an electrolytic cell. *NeuroQuantology*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 477–483.

[20] Korotaev S.M., Morozov A.N. Nelokalnost dissipativnykh protsessov — prichinnost i vremya [Nonlocality of dissipative processes — causality and time]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2018.

**Golyak I.I.** — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Research Fellow, Research Department, Scientific and Educational Complex Fundamental Sciences, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); Center of Applied Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Morozov A.N.** — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Head of Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); General Director, Center of Applied Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Nazolin A.L.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Russian Academy of Sciences, Senior Research Fellow, Research Department, Scientific and Educational Complex Fundamental Sciences, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation); Head of Scientific and Technical Department, Center of Applied Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Strokov M.A.** — Engineer, Center of Applied Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Golyak I.I., Morozov A.N., Nazolin A.L., et al. External influences effect on the tunnel diodes current fluctuations for testing the gravitational antenna registration system. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2024, no. 1 (112), pp. 63–77 (in Russ.). EDN: ERBOFD