

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ВЛАЖНОСТИ В ТЕРМОСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ КАМЕРЕ

Ил.С. Голяк<sup>1</sup>

А.Н. Морозов<sup>1,2</sup>

М.А. Строков<sup>3</sup>

iliyagol@bmstu.ru

amor@bmstu.ru

makstrokov@yahoo.com

<sup>1</sup>АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>ФИАН, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Приведены результаты долговременных измерений относительной влажности внутри термостабилизированной камеры. Показано, что значения относительной влажности внутри камеры коррелируют с абсолютной влажностью атмосферного воздуха. Обнаружено наличие в спектрах разности относительной влажности внутри термостабилизированной камеры и ортонормированной абсолютной влажностью атмосферного воздуха сигналов с периодами 16 и 30 сут. Установлено наличие в периодограмме вариаций относительной влажности внутри термостабилизированной камеры сигналов с периодами 1436 и 1440 мин, соответствующими периодам вращения Земли вокруг своей оси, и с учетом вращения вокруг Солнца

### Ключевые слова

*Влажность, точка росы, температура, коэффициент корреляции, спектр, долговременные измерения*

Поступила 07.05.2018

Принята 07.08.2018

© Автор(ы), 2020

---

При проведении долговременных измерений флуктуаций напряжения в малых объемах электролита необходимо обеспечить изоляцию экспериментальной установки от внешних воздействий. Для этого экспериментальные установки были расположены в подвальном помещении на территории МГТУ им. Н.Э. Баумана, а электролитические ячейки экранированы от электромагнитных наводок, герметизированы и теплоизолированы от воздействия окружающей среды [1, 2]. В новой серии экспериментов установки размещены в термостабилизированной камере (термостат суховоздушный ТВ-80), которая обеспечивала поддержание стабильной температуры  $T_k = (20 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура внутри камеры измерялась с использованием термодатчика; результаты измерений подтвердили поддержание стабильной температуры в указанном выше диапазоне.

Для измерения влажности воздуха внутри камеры использован датчик относительной влажности НН-4000-004, который обеспечивал измерения влажности с точностью до  $\pm 1\%$ . Влияние внешних метеорологических факторов оценивалось с использованием данных по температуре воздуха  $T$ , температуре точки росы  $Td$  и относительной влажности воздуха  $Rh$ , которые были взяты с сайта «Погода и климат»<sup>\*</sup> для метеостанции Москвы, расположенной на территории ВДНХ (индекс WMO:27612) в 8 км от экспериментальных установок.

Значения температуры точки росы  $Td$  позволили с использованием приведенной в работах [3, 4] приближенной формулы для давления насыщенного пара

$$Po = \exp\left(21,2409342 - 6096,9385 / T_0 - 2,711193 \cdot 10^{-2} T_0 + 1,673952 \cdot 10^{-5} T_0^2 + 2,433502 \ln(T_0)\right) \quad (1)$$

и уравнения Менделеева — Клапейрона для водяного пара

$$Ro = 2,167 Po / T_0 \quad (2)$$

рассчитать абсолютную влажность атмосферного воздуха  $Ro$ . Здесь введена абсолютная температура точки росы

$$T_0 = Td + 273,16. \quad (3)$$

Зависимость температуры точки росы  $Td$  от времени (период наблюдения с 21.12.2016 г. по 27.04.2018 г., т. е. 11 802 ч) приведена на рис. 1.

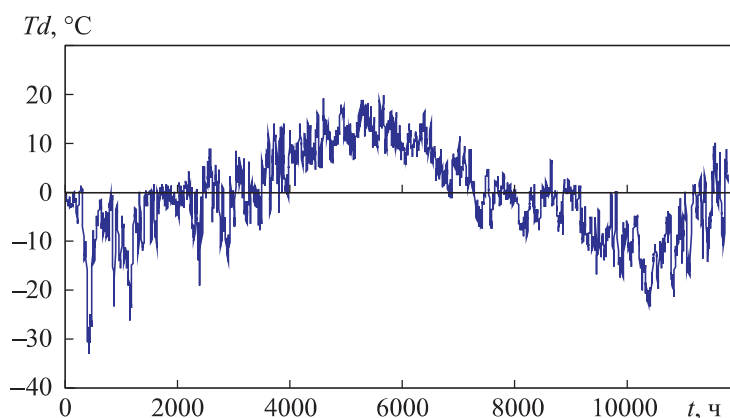


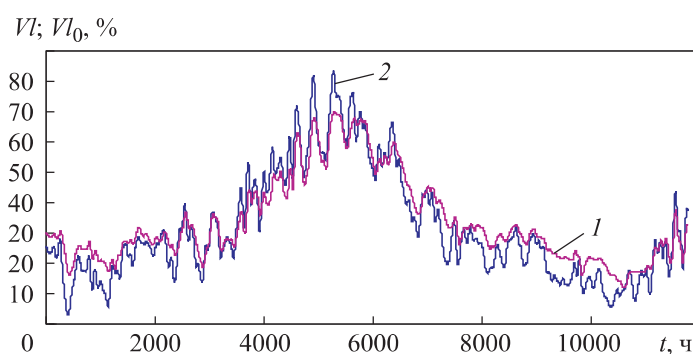
Рис. 1. Зависимость температуры точки росы от времени

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

Зависимости относительной влажности  $Vl$ , зарегистрированной датчиком влажности в термостабилизированной камере, и относительной влажности, рассчитанной по формуле

$$Vl_0 = R_0 / R_{0_0}, \quad (4)$$

от времени приведены на рис. 2. Здесь  $R_{0_0} = 15,65 \text{ гр/м}^3$  — абсолютная влажность при температуре точки росы, совпадающей с температурой  $T_k = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  внутри термостабилизированной камеры. Приведенные зависимости подвергались низкочастотной фильтрации с периодом 16 ч.



**Рис. 2.** Зависимости относительной влажности внутри камеры (1) и рассчитанной относительной влажности (2) от времени

Корреляционная функция  $K(Vl, Vl_0)$ , характеризующая зависимость относительной влажности внутри камеры  $Vl$  от влажности  $Vl_0$ , рассчитанной по формулам (1)–(4), приведена на рис. 3. Максимальное значение коэффициента корреляции равно  $K(Vl, Vl_0) = 0,950 \pm 0,082$  при запаздывании показаний датчика влажности внутри камеры  $Vl$  от рассчитанного значения относительной влажности  $Vl_0$  на 12 ч. При оценке погрешности измерений использована методика, изложенная в [5]. Наблюдается явная корреляция значений относительной влажности внутри камеры  $Vl$  с рассчитанным значением  $Vl_0$  (см. рис. 3). В связи с этим при проведении долговременных экспериментов необходимо изолировать экспериментальные установки не только от влияния внешней температуры, но и влажности.

Зависимость спектральной плотности  $G_{\Delta Vl}(f)$  разности относительной влажности внутри камеры и рассчитанной относительной влажности  $\Delta Vl = Vl - Vl_0$  от периода приведена на рис. 4, а. На графике хорошо заметны низкочастотные спектральные пики, соответствующие периодам 16 и 30 сут. Кроме того, имеют место пики с периодами 2,5 и 6,4 сут, а также суточный ритм.

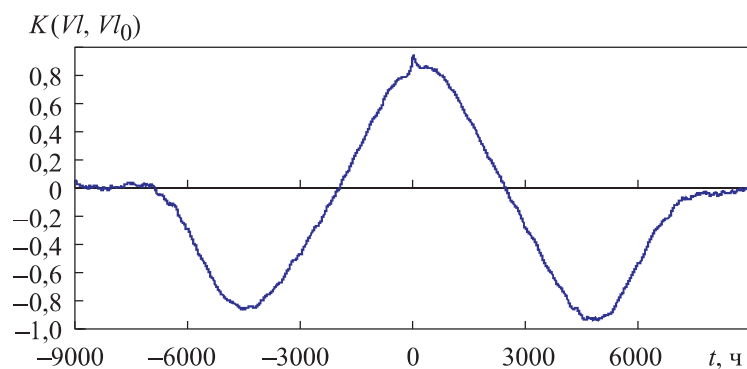


Рис. 3. Корреляционная функция

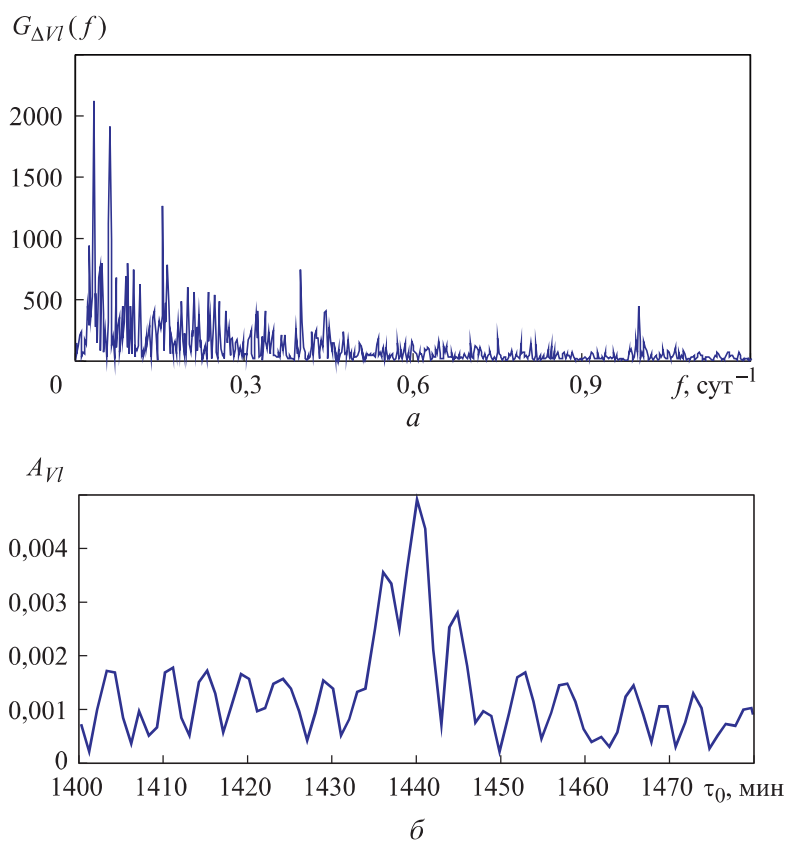


Рис. 4. Спектральная мощность  $G_{\Delta VI}(f)$  (а) и периодограмма зависимости амплитуды  $A_{VI}$  вариаций относительной влажности внутри камеры от периода (б)

Для более внимательного исследования тонкой структуры линий, характеризующих суточный ритм, рассчитаны периодограммы вариаций относительной влажности внутри камеры (рис. 4, б). В суточном ритме

вариаций  $Vl$  присутствуют две составляющие: с периодом 1436 и 1440 мин (а также небольшой пик, соответствующий периоду 1444...1445 мин). Первые две составляющие соответствуют периодам вращения Земли вокруг своей оси и с учетом вращения вокруг Солнца.

**Заключение.** Полученные экспериментальные результаты показывают, что на измеренную в лабораторных условиях влажность воздуха сильно влияют внешние факторы, учет которых необходим при долговременных физических измерениях. Кроме того, результаты могут быть использованы при исследовании немарковских физических процессов [6, 7], поскольку они указывают на возможности достаточно сильного влияния удаленных физических процессов на результаты измерений, выполненных в лабораторных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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, с. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>
- [2] 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. DOI: <https://doi.org/10.14704/nq.2016.14.3.920>
- [3] Sonntag D. Advancements in the field of hygrometry. *Meteorol. Z.*, 1994, vol. 3, pp. 51–66.
- [4] Murphy D.M., Koop T. Review of the vapor pressures of ice and supercooled water for atmospheric applications. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, 2005, vol. 131, iss. 608, pp. 1539–1565. DOI: <https://doi.org/10.1256/qj.04.94>
- [5] Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т. 1. М., Мир, 1983.
- [6] Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Описание испарения сферической частицы жидкости как немарковского случайного процесса с использованием интегральных стохастических уравнений. *Известия вузов. Физика*, 2010, № 11, с. 55–64.
- [7] Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Немарковские физические процессы. М., ФИЗМАТЛИТ, 2018.

**Голяк Илья Семенович** — канд. физ.-мат. наук, 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, генеральный директор АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана», заведующий кафедрой «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Строков Максим Анатольевич** — аспирант ФИАН (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 53).

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

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>

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LONG-TERM HUMIDITY VARIATIONS IN A THERMALLY STABILISED CHAMBER**

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

[iliyagol@bmstu.ru](mailto:iliyagol@bmstu.ru)

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

[amor@bmstu.ru](mailto:amor@bmstu.ru)

**M.A. Strokov**<sup>3</sup>

[makstrokov@yahoo.com](mailto:makstrokov@yahoo.com)

<sup>1</sup> Applied Physics Center JSC, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Abstract**

The paper presents long-term measurement results concerning relative humidity in a thermally stabilised chamber. We show that the relative humidity values inside the chamber correlate with the absolute humidity of the atmospheric air. We detected the presence of 16- and 30-day periodic signals in the spectra of the difference between the relative humidity inside the thermally stabilised chamber and the orthonormal absolute humidity of the atmospheric air. We also discovered the presence of periodic signals in the periodogram of variations in relative humidity inside the thermally stabilised chamber; the periods of those signals are 1436 and 1440 minutes, which corresponds to the period of the Earth's rotation around its axis, taking into account its rotation around the Sun

**Keywords**

*Humidity, dew point, temperature, correlation coefficient, spectrum, long-term measurements*

Received 07.05.2018

Accepted 07.08.2018

© Author(s), 2020

## REFERENCES

- [1] 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*, 2015, no. 4, pp. 57–66 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>
- [2] 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. DOI: <https://doi.org/10.14704/nq.2016.14.3.920>
- [3] Sonntag D. Advancements in the field of hygrometry. *Meteorol. Z.*, 1994, vol. 3, pp. 51–66.
- [4] Murphy D.M., Koop T. Review of the vapor pressures of ice and supercooled water for atmospheric applications. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, 2005, vol. 131, iss. 608, pp. 1539–1565. DOI: <https://doi.org/10.1256/qj.04.94>
- [5] Max J. Methodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Paris, Masson.
- [6] Morozov A.N., Skripkin A.V. Description of evaporation of a spherical liquid drop by a non-Markovian random process based on integral stochastic equations. *Russ. Phys. J.*, 2011, vol. 53, iss. 11, pp. 1167–1178. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11182-011-9546-y>
- [7] Morozov A.N., Skripkin A.V. Nemarkovskie fizicheskie protsessy [Non-Markovian physical processes]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2018.

**Golyak I.I.S.** — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Research Fellow, Applied Physics Center JSC, 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 Applied Physics Center JSC, Head of Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Strokov M.A.** — Post-Graduate Student, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences (Leninskiy prospekt 53, Moscow, 119991 Russian Federation).

### Please cite this article in English as:

Golyak I.I.S., Morozov A.N., Strokov 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>