

УДК 536.75

ЗАВИСИМОСТЬ МЕРЫ КУЛЬБАКА ФЛУКТУАЦИЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЯЧЕЙКАХ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

А.Н. Морозов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: amor59@mail.ru

Приведены результаты обработки долговременных записей флуктуаций напряжения на электролитических ячейках двух независимых экспериментальных установок в двух сериях экспериментов. Установлено наличие корреляции значений мер Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках и следующих метеорологических факторов: температуры воздуха на улице; температуры точки росы; скорости ветра; относительной и абсолютной влажности воздуха; давления насыщенного пара. Показано, что значения мер Кульбака запаздывают относительно метеорологических факторов на периоды времени от 18 до 51 ч. Наибольшая корреляция наблюдается при воздействии вариаций температуры точки росы, абсолютной влажности и давления насыщенного пара. Установлено, что указанное влияние не может быть объяснено температурным воздействием на экспериментальные установки.

Ключевые слова: флуктуации напряжения, электролитическая ячейка, мера Кульбака, температура, точка росы, относительная влажность, абсолютная влажность, давление насыщенного пара, скорость ветра, коэффициент корреляции.

CORRELATION BETWEEN KULLBACK'S MEASURE OF ELECTROLYTIC CELL VOLTAGE FLUCTUATIONS AND METEOROLOGICAL FACTORS

A.N.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: amor59@mail.ru

The article discusses the results of the persistent data processing of electrolytic cell voltage fluctuations conducted in two separate experimental setups during two sets of experiments. It presents the determined correlation between the electrolytic cell voltage fluctuations and the following meteorological factors: outside air temperature, dew-point temperature, wind speed, relative humidity, absolute humidity, and vapor pressure. It is found out that Kullback's measure parameters lag behind the meteorological factors up to 18–51 hours. The maximum correlation is observed from the exposure to dew-point temperature variations, absolute humidity, and vapor pressure. This correlation can not be explained by the exposure of the experimental setups to temperature variations.

Keywords: voltage fluctuation, electrolytic cell, Kullback's measure, temperature, dew-point, relative humidity, absolute humidity, vapor pressure, wind speed, correlation factor.

Результаты измерений меры Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках, полученные при долговременных экспериментах, выполненных в трех экспериментальных сериях (с 10 декабря 2007 г. по 16 марта 2008 г., с 19 мая 2009 г. по 1 сентября 2009 г. и с 20 марта 2011 г. по 18 декабря 2012 г.) приведены в работах [1, 2]. Установлено, что меры Кульбака, рассчитанные по данным измерений флуктуаций напряжения на двух независимых экспериментальных установках, коррелируют между собой.

Цель настоящей работы — установление зависимости мер Кульбака от внешних метеорологических факторов. При анализе будут использованы результаты двух серий долговременных экспериментов: ранее проведенных в период с 20 марта 2011 г. по 18 декабря 2012 г. (15 360 ч, или 640 сут.) и новых — с 25 сентября 2013 г. по 29 декабря 2014 г. (11 064 ч, или 461 сут.). Общая продолжительность экспериментов составила 26 424 ч, или 1101 сут.

В первой серии экспериментов на электролитические ячейки подавалось постоянное напряжение 1,2...6,8 В, во втором — электролитические ячейки не подключались к внешнему источнику напряжения. Объем электролита в тонких каналах электролитических ячеек в двух сериях экспериментов был примерно равен $V = 2 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3$. Конструкция установок и методика расчета мер Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках описаны в работах [3–5].

По результатам измерений флуктуаций напряжения со скважностью 1 мин осуществлялись вычисления дисперсий (D_1 , D_2) и мер Кульбака (H_1 , H_2) для сигналов, зарегистрированных на двух установках. Одновременно проводилось измерение температуры на улице (T_1) и температуры внутри пассивного термостата (T_2), где размещались установки. Временные ряды далее усреднялись и прорежались на периоде, равном 1 ч.

Мера Кульбака для описания объема информации была введена в работах [6, 7], в настоящее время она широко используется в теории передачи информации и для описания неравновесных термодинамических систем [8, 9]. В работах [1, 2] она применена как параметр, характеризующий флуктуации напряжения на электролитических ячейках.

Записанные со скважностью 1 ч указанные выше ряды подвергались фильтрации в соответствии с описанной в работе [2] методикой, что обеспечивало вычитание сигналов с периодами менее 48 ч (2 сут.) и более 1200 ч (50 сут.). Затем методом скользящей регрессии из полученных значений вариаций мер Кульбака вычитались вариации дисперсии флуктуаций напряжения и температуры установок. Указанная процедура позволяла очистить полученные значения мер Кульбака от их возможной зависимости от температуры установок. Отметим

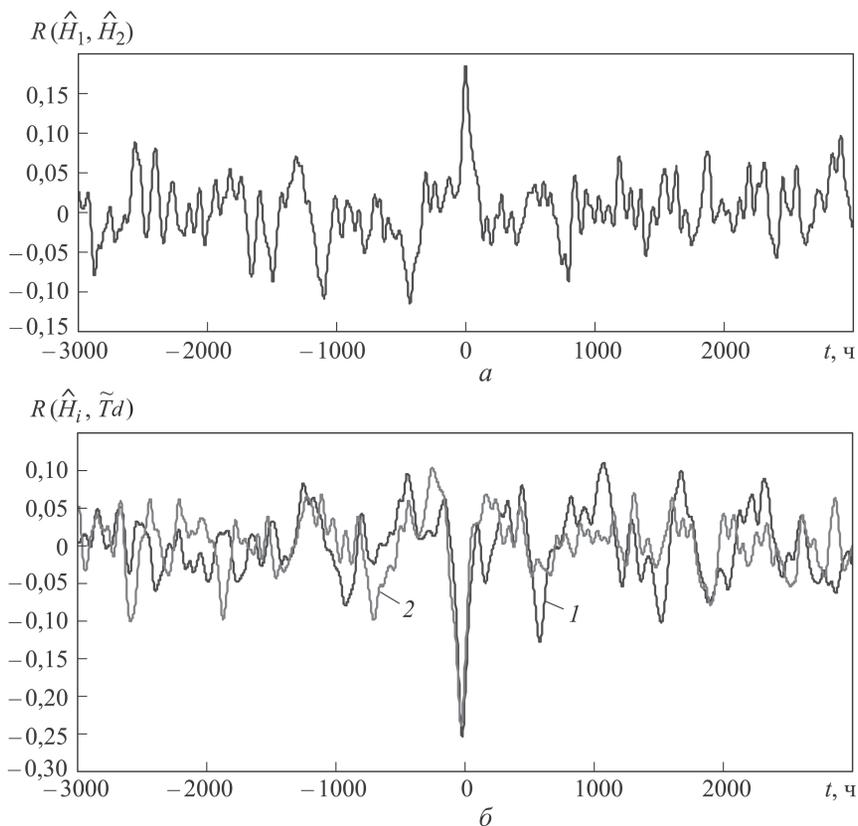


Рис. 1. Зависимость коэффициента корреляции значений мер Кульбака для двух независимых установок от времени (*а*) и зависимость коэффициентов корреляции $R(\hat{H}_1, \tilde{T}d)$ (1) и $R(\hat{H}_2, \tilde{T}d)$ (2) значений мер Кульбака и вариаций температуры точки росы от времени (*б*)

также, что в целях подавления возможных мешающих факторов экспериментальные установки были экранированы от электромагнитных наводок, а электролитические ячейки — герметизировались и теплоизолировались от окружающей среды.

Зависимость усредненного для двух экспериментальных серий коэффициента корреляции $R(\hat{H}_1, \hat{H}_2)$ мер Кульбака (\hat{H}_1 и \hat{H}_2) от времени представлена на рис. 1, *а*. Согласно приведенной кривой, наблюдается небольшая корреляция $R(\hat{H}_1, \hat{H}_2) = 0,185 \pm 0,053$ мер Кульбака (\hat{H}_1 и \hat{H}_2) для двух независимых установок при практически нулевом сдвиге этих временных рядов. Дисперсия ошибки $\sigma_R = 0,053$ значения корреляции $R(\hat{H}_1, \hat{H}_2)$ вычислялась по формуле, полученной в работе [10]. Из приведенных результатов следует, что отношению сигнал/шум для корреляции $R(\hat{H}_1, \hat{H}_2)$ равно 3,5. В соответствии с распределением Стьюдента вероятность наличия корреляции значений мер Кульбака \hat{H}_1 и \hat{H}_2 между двумя независимыми установками составляет $P = 0,9995$ [11].

Для выявления причины возникновения взаимной корреляции мер Кульбака и их зависимости от метеорологических факторов использовались данные по температуре воздуха T , температуре точки росы Td , скорости ветра V , относительной влажности воздуха Rh и атмосферному давлению P , соответствующие двум сериям экспериментов. Перечисленные данные взяты с сайта “Погода и климат” (www.pogodaiklimat.ru) для метеостанции, расположенной в Москве на территории ВДНХ (индекс WMO: 27612). Кроме того, использованы данные о потоке космических нейтронов Kl (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>) и солнечной активности Si (ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/Penticton_Observed/daily/DAILYPLT.OBS).

Зависимость коэффициента корреляции $R(\hat{H}_i, \tilde{T}d)$, $i = 1, 2$, вариаций значений мер Кульбака (\hat{H}_1 и \hat{H}_2) для двух установок и вариаций температуры точки росы на улице Td , усредненных для двух серий экспериментов, от времени приведена на рис. 1, б. Наблюдается отрицательная корреляция значений мер Кульбака \hat{H}_i , $i = 1, 2$, и вариаций температуры точки росы $\tilde{T}d$ $R(\hat{H}_1, \tilde{T}d) = -0,256 \pm 0,068$; $R(\hat{H}_2, \tilde{T}d) = -0,241 \pm 0,059$ с запаздыванием значений мер Кульбака относительно температуры точки росы на 27 ч для первой экспериментальной установки и на 33 ч для второй. Вероятность наличия корреляции для двух установок составляет $P_1 = 0,9998$ и $P_2 = 0,99996$. Согласно приведенным кривым, для двух независимых установок наблюдаются близкие значения корреляционных функций $R(\hat{H}_1, \tilde{T}d)$ и $R(\hat{H}_2, \tilde{T}d)$, что свидетельствует об одинаковом характере воздействия указанного фактора на флуктуации напряжения в малых объемах электрических ячеек.

Зависимость коэффициента корреляции среднего значения мер Кульбака $\hat{H}_{1,2} = (\hat{H}_1 + \hat{H}_2) / 2$ для двух установок и вариаций температуры точки росы $\tilde{T}d$ показана рис. 2, а: $R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{T}d) = -0,317 \pm 0,070$ при запаздывании на 30 ч; отношение сигнал/шум 4,5; вероятность указанной корреляции $P = 0,999994$.

Для определения зависимости от времени корреляции средних значений мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ и вариаций температуры точки росы $\tilde{T}d$ по методике, изложенной в работе [2], вычислялось значение $\hat{S}_{HT} = \hat{H}_{1,2} \tilde{T}d$, усредненное за период времени 720 ч (30 сут.). Для первой серии экспериментов приведена зависимость произведения \hat{S}_{HT} при сдвиге значений меры Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ и температуры точки росы $\tilde{T}d$ на величину запаздывания по времени, равную 30 ч (рис. 2, б). Произведение этих величин во всем диапазоне периода проведения эксперимента имеет отрицательное значение.

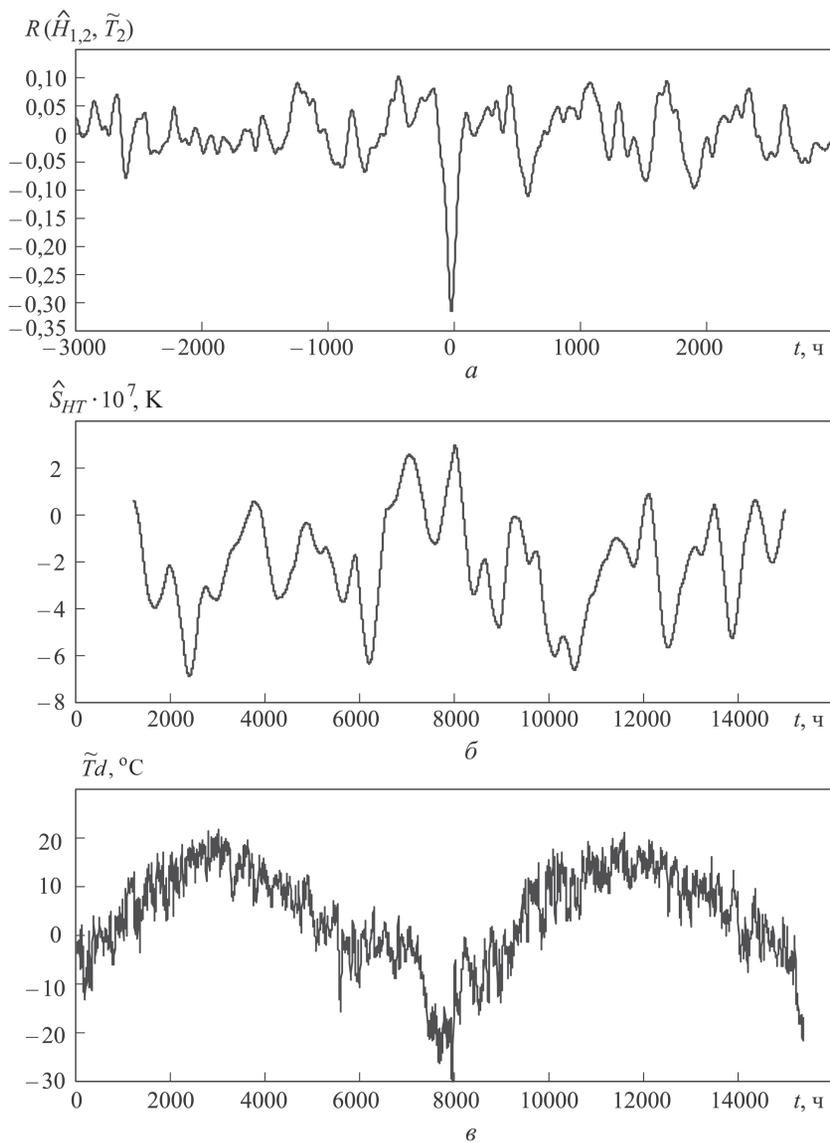


Рис. 2. Зависимость коэффициента корреляции средних значений мер Кульбака и вариаций температуры точки росы от времени (а), зависимость произведения средних значений мер Кульбака и вариаций температуры точки росы для первой серии экспериментов от времени (б), зависимость температуры точки росы от времени за период наблюдений с 20 марта 2011 г. по 18 декабря 2012 г. (в)

Усредненное за весь период наблюдения в первой серии экспериментов произведение средних значений мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ и вариаций температуры точки росы \tilde{T}_d равно $\hat{S}_{HT} = -2,36 \cdot 10^{-7}$ К.

Явно выраженные минимумы кривой, приведенной на рис. 2, б, наблюдаются при значениях времени от начала временного ряда 1314, 5 556, 8 025, 9 942, 10 374, 12 153 и 14 100 ч, что соответствует 13 мая и 5 ноября 2011 г., 16 февраля, 6 и 25 мая, 7 августа и 22 октября

2012 г. Указанным датам, за исключением 16 февраля 2011 г. и 7 августа 2012 г., соответствуют моменты времени колебания температуры точки росы $\tilde{T}d$ в диапазоне значений $0 \dots +10^\circ\text{C}$ (рис. 2, в).

Зависимость произведения средних значений мер Кульбака и вариаций температуры точки росы от времени для второй серии экспериментов, аналогичная зависимости, приведенной на рис. 2, б, представлена на рис. 3, а. Среднее значение произведения $\hat{S}_{HT} = -3,31 \times 10^{-7} \text{ K}$, что совпадает со значением, полученным для первой серии экспериментов. Это указывает на независимость воздействия на флуктуации напряжения от приложенного к электролитическим ячейкам внешнего напряжения, так как во второй серии экспериментов, в отличие от первой, оно отсутствовало.

Минимумы кривой, приведенной на рис. 3, а, наблюдаются для значений времени от начала временного ряда 5 247 и 9 425 ч, что соответствует 1 мая и 22 октября 2014 г. Так же, как и для первой серии экспериментов, в эти даты наблюдались колебания температуры точки росы $\tilde{T}d$ в диапазоне значений $0 \dots +10^\circ\text{C}$ (рис. 3, б).

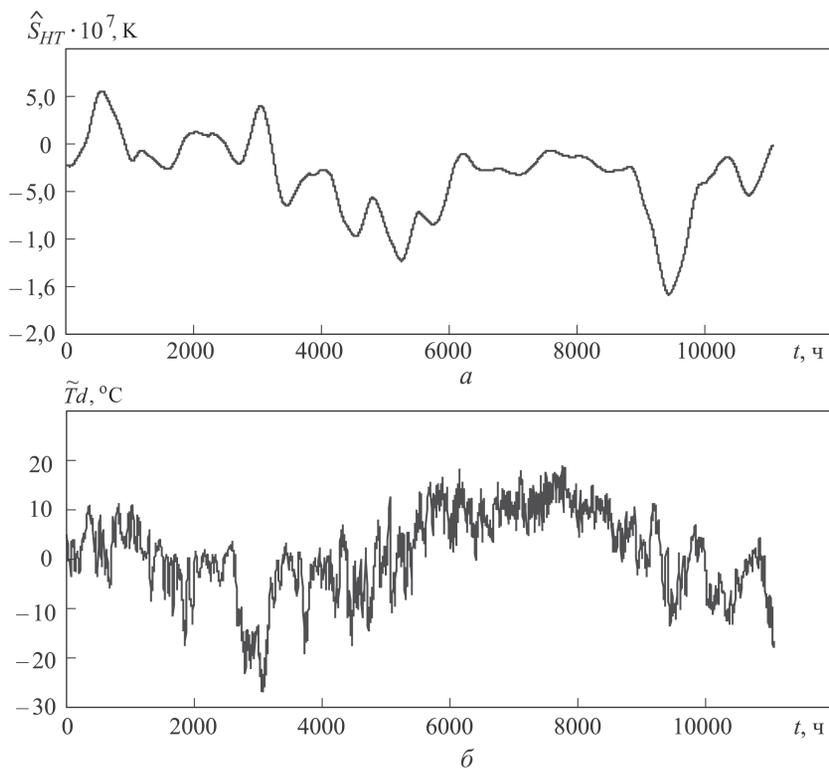


Рис. 3. Зависимость произведения средних значений мер Кульбака и вариаций температуры точки росы от времени для второй серии экспериментов (а) и зависимость температуры точки росы от времени за период наблюдения с 25 сентября 2013 г. по 29 декабря 2014 г. (б)

Были рассчитаны корреляции средних значений мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ от других параметров, указанных выше. Установлена несколько меньшая, чем для температуры точки росы, корреляция с температурой на улице по данным метеостанции, расположенной в Москве \tilde{T} ($R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{T}) = -0,236 \pm 0,071$ при запаздывании 27 ч, $P = 0,9995$), и температурой \tilde{T}_1 , измеренной на улице рядом с установками ($R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{T}_1) = -0,208 \pm 0,069$ при запаздывании 18 ч, $P = 0,997$).

Согласно кривой, приведенной на рис. 4, *a*, наблюдается небольшая корреляция вариаций средних значений мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ и вариаций скорости ветра \tilde{V} на улице $R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{V}) = 0,195 \pm 0,058$ с запаздыванием средних значений мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ относительно скорости ветра \tilde{V} на улице на 51 ч. Вероятность наличия корреляции равна $P = 0,9993$.

Наблюдается корреляция меры Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ с измеренной относительной влажностью на улице Rh $R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{Rh}) = -0,195 \pm 0,064$ при запаздывании 33 ч ($P = 0,998$) и с рассчитанной в соответствии с формулами, приведенными в работах [12, 13], абсолютной влажностью Ro $R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{Ro}) = -0,352 \pm 0,070$ при запаздывании 30 ч (рис. 4, *б*). В последнем случае вероятность корреляции составляет

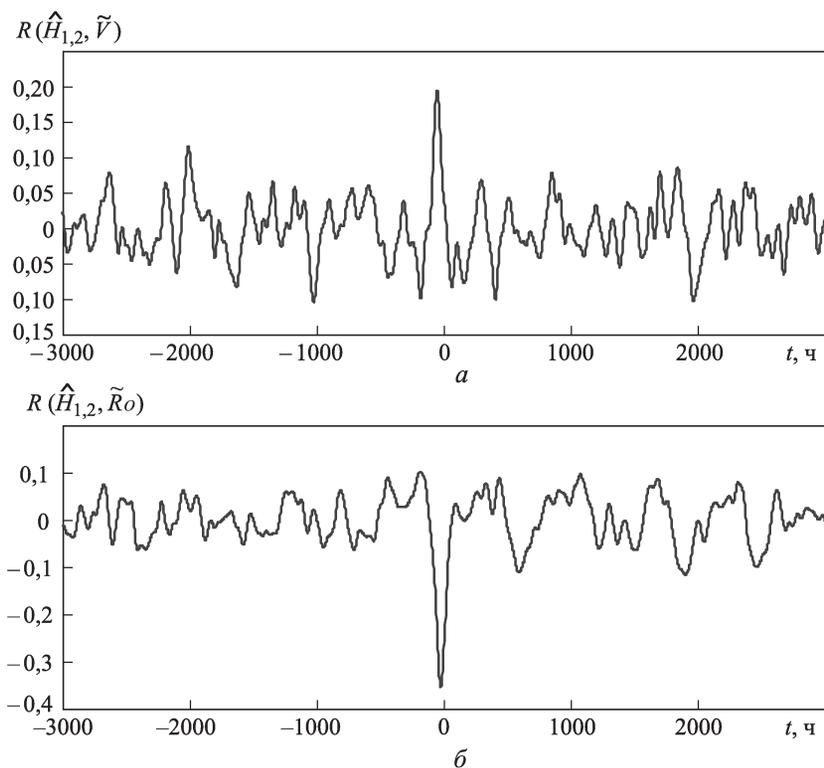


Рис. 4. Зависимости коэффициента корреляции средних значений мер Кульбака и вариаций скорости ветра (*a*) и абсолютной влажности (*б*) от времени

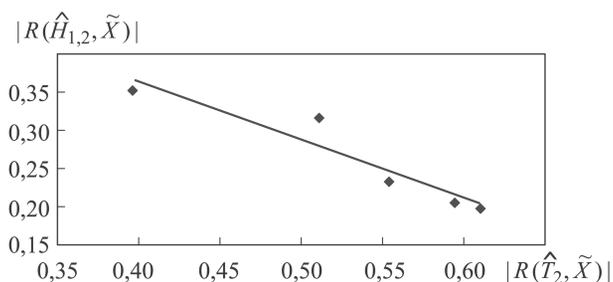


Рис. 5. Зависимость коэффициентов корреляции значений мер Кульбака и температуры установок от внешних метеорологических факторов

$P > 0,999999$. Аналогичный результат получается и в случае нахождения корреляции с давлением насыщенного водяного пара P_o $R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{P}_o) = -0,351 \pm 0,071$ при запаздывании 30 ч. Указанные корреляции являются самыми сильными из всех обнаруженных при корреляционном анализе.

Корреляционный анализ показал отсутствие значимых корреляций вариаций средних значений мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ с вариациями температуры установок \tilde{T}_2 , атмосферного давления \tilde{P} , потока космических нейтронов $\tilde{K}l$ и солнечной активности $\tilde{S}i$.

Зависимость абсолютных значений коэффициентов корреляции мер Кульбака $|R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{X})|$ и температуры установок $|R(\hat{T}_2, \tilde{X})|$ от внешних метеорологических факторов \tilde{X} ($\tilde{R}o, \tilde{T}d, \tilde{T}, \tilde{T}_1, \tilde{R}h$) приведена на рис. 5. Явно прослеживается обратная зависимость коэффициентов корреляции $|R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{X})|$ и $|R(\hat{T}_2, \tilde{X})|$, которая указывает на увеличение влияния метеорологического фактора на вариации мер Кульбака $\hat{H}_{1,2}$ при уменьшении указанного влияния на температуру установок \tilde{T}_2 . С учетом этого можно сделать вывод о том, что механизм влияния внешних метеорологических процессов на изменение значения меры Кульбака не связан с непосредственным температурным воздействием на экспериментальные установки. Сведем полученные выше результаты в таблицу.

Согласно данным, приведенным в таблице, запаздывание значений мер Кульбака относительно скорости ветра несколько больше (51 ч) по сравнению с запаздыванием относительно температуры на улице (27 ч), а корреляция имеет противоположный знак, что объясняется зависимостью процесса охлаждения атмосферного воздуха от скорости ветра, приносящего холодные атмосферные массы.

Меньшее запаздывание температуры на улице, измеренной в непосредственной близости от установок, расположенных на территории МГТУ им. Н.Э. Баумана (18 ч), по отношению к данным метеостанции, расположенной в Москве на территории ВДНХ (27 ч), связано

Полученные результаты

Коэффициент корреляции	Отношение сигнал/шум	Вероятность корреляции	Опережение (запаздывание), ч
$R(\hat{H}_1, \hat{H}_2) = 0,185 \pm 0,053$	3,5	0,9995	0
$R(\hat{H}_1, \tilde{T}d) = -0,256 \pm 0,068$	3,8	0,9998	-27
$R(\hat{H}_2, \tilde{T}d) = -0,241 \pm 0,059$	4,1	0,99996	-33
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{T}d) = -0,317 \pm 0,070$	4,5	0,999994	-30
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{T}) = -0,236 \pm 0,071$	3,3	0,999	-27
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{T}_1) = -0,208 \pm 0,069$	3,0	0,997	-18
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{V}) = 0,195 \pm 0,058$	3,4	0,9993	-51
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{R}h) = -0,198 \pm 0,064$	3,1	0,998	-33
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{P}o) = -0,351 \pm 0,071$	4,9	>0,999999	-30
$R(\hat{H}_{1,2}, \tilde{R}o) = -0,352 \pm 0,070$	5,0	>0,999999	-30

с локальным прогревом воздушных масс в черте плотной городской застройки.

Полученные результаты показывают наличие корреляции мер Кульбака флуктуаций напряжения на электролитической ячейке и метеорологических факторов. Максимальная корреляция мер Кульбака наблюдается с вариациями абсолютной влажности воздуха (давлением насыщенного пара). Эта корреляция несколько выше в сравнении с аналогичным значением для температуры точки росы, которая также немного больше корреляции с температурой воздуха по данным метеостанции, находящейся в Москве. Из этого следует, что наибольшее влияние на экспериментальные установки оказывают вариации абсолютной влажности атмосферного воздуха (давления насыщенного пара), но конкретный механизм этого влияния не установлен.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морозов А.Н.* Предварительные результаты измерений меры Кульбака флуктуаций напряжения на электролитической ячейке // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2011. № 2. С. 16–24.
2. *Морозов А.Н.* Применение меры Кульбака для оценки долговременных изменений флуктуаций напряжения на электролитической ячейке // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2013. № 3. С. 52–61.
3. *Морозов А.Н.* Необратимые процессы и броуновское движение: Физико-технические проблемы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. 332 с.
4. *Кортаев С.М., Морозов А.Н., Сердюк В.О., Сорокин М.О.* Проявление макроскопической нелокальности в некоторых естественных диссипативных процессах // Известия вузов. Физика. 2002. № 5. С. 3–14.
5. *Experimental study of macroscopic nonlocality of large-scale natural dissipative processes / S.M. Korotaev, A.N. Morozov, V.O. Serdyuk, V.A. Machinin, J.V. Gorokhov // NeuroQuantology. 2005. Iss. 4. P. 275–294.*

6. Kullback S., Leibler R.A. On information and sufficiency // *Ann. Math. Statist.* 1951. Vol. 22. P. 79–86.
7. Кульбак С. Теория информации и статистика; пер. с англ. М.: Наука, 1967. 408 с.
8. Зарипов Р.Г. Новые меры и методы в теории информации. Казань: Изд-во Казан. гос. тех. ун-та, 2005. 364 с.
9. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса: Новый подход к статистической теории открытых систем. М.: Наука, 1990. 320 с.
10. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях; пер. с франц. Т. 1. М.: Мир, 1983. 312 с.
11. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. Формулы, графики, таблицы; пер. с нем. М.: Наука, 1977. 344 с.
12. Sonntag D. Advancements in the field of hygrometry // *Meteorol. Z.*, N.F. 1994. Vol. 3. P. 51–66.
13. 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. 31. P. 1539–1565.

REFERENCES

- [1] Morozov A.N. Preliminary results of recording the Kullback measure of voltage fluctuations on electrolytic Cell. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2011, no. 2, pp. 16–24 (in Russ.).
- [2] Morozov A.N. Application of the Kullback measure for estimation of long-term variations in voltage fluctuations on the electrolytic cell. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2013, no. 3, pp. 52–61 (in Russ.).
- [3] Morozov A.N. Neobratimye protsessy i brownovskoe dvizhenie: Fiziko-tekhnicheskie problem [Irreversible Processes and Brownian Motion: Physical and Technological Problems]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 1997. 332 p.
- [4] Korotaev S.M., Morozov A.N., Serdyuk V.O., Sorokin M.O. Experience of Macroscopic Non-Locality in Some Natural Dissipative Processes. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Fizika* [Proc. Univ., Physics], 2002, no. 5, pp. 3–14 (in Russ.).
- [5] Korotaev S.M., Morozov A.N., Serdyuk V.O., Machinin V.A., Gorokhov J.V., Machinin V.A. Experimental study of macroscopic nonlocality of large-scale natural dissipative processes. *Neuro Quantology*, 2005, iss. 4, pp. 275–294.
- [6] Kullback S., Leibler R.A. On information and sufficiency. *Ann. Math. Statist.*, 1951, vol. 22, pp. 79–86.
- [7] Kullback S. Information Theory and Statistics. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1959, 409 p. [Russ. ed.: Kullback S. Teoriya informatsii i statistika. Moscow, Nauka Publ., 1967. 408 p.].
- [8] Zaripov R.G. Novye mery i metody v teorii informatsii [New Measures and Techniques in Information Theory]. Kazan', Kazan. Gos. Tekh. Univ. Publ., 2005. 364 p.
- [9] Klimontovich Yu.L. Turbulentnoe dvizhenie i struktura khaosa: Novyy podkhod k statisticheskoy teorii otkrytykh system [Turbulent Motion and Structure of Chaos: A New Approach to the Statistical Theory of Open Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 320 p.
- [10] Max J. Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh [Fr. ed.: Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. Paris, Masson, 238 p. Eng. ed.: Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements]. Vol. 1. Moscow, Mir Publ., 1983. 312 p.
- [11] Jahnke E., Emde F., Lesh F. Spetsial'nye funktsii [Ger. ed.: Jahnke E., Emde F., Lösch F. Tafeln Höherer Funktionen. Stuttgart: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1960. Eng. ed.: Tables of higher functions]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 344 p.

- [12] Sonntag D. Advancements in the field of hygrometry. *Meteorol. Z., N.F.*, 1994, vol. 3, pp. 51–66.
- [13] 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. 31, pp. 1539–1565.

Статья поступила в редакцию 27.01.2015

Морозов Андрей Николаевич — д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 200 научных работ в области прецизионных измерений и физической кинетики.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Morozov A.N. — Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, head of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 200 publications in the field of high precision measuring systems and physical kinetics theory.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Морозов А.Н. Зависимость меры Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках от метеорологических факторов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2015. № 3. С. 47–57.

Please cite this article in English as:

Morozov A.N. Correlation between Kullback’s measure of electrolytic cell voltage fluctuations and meteorological factors. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, no. 3, pp. 47–57.