



О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ В СЕТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ АТМОСФЕРЫ ПУТЕМ УЧЕТА МЕТЕОФАКТОРОВ

Н. Г. Джавадов¹, Х. Г. Асадов¹, Н. А. Абдуллаев², Р. В. Казымлы¹

** Национальное аэрокосмическое агентство, г.Баку, Азербайджанская Республика*

***НИИ Министерство оборонной промышленности, г.Баку, Азербайджанская Республика*

Исследована возможность повышения достоверности результатов измерения в наземных сетях контроля электрической проводимости путем учета влияния метеофакторов. Проведенный анализ влияния времени увлажнения аэрозоля в атмосферном воздухе на показатель интегрированной относительной погрешности показал наличие максимума интегральной оценки относительной погрешности в зависимости от вида искомой функции зависимости временной постоянной RC цепочки измерителя от времени оседания увлажненного аэрозоля. Полученный максимум является условным и характеризует режим, в котором соблюдается интегральное ограничительное условие, наложенное на искомую функцию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ, АТМОСФЕРА, АЭРОЗОЛЬ, УВЛАЖНЕНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ

1. ВВЕДЕНИЕ

Как отмечается в работе [1], перед сейсмическими событиями (землетрясением) наблюдается увеличение концентрации ионов в воздухе. Большое скопление ионов в воздухе, в свою очередь, приводит к уменьшению его проводимости. Вопрос влияния метеорологических факторов, в частности влажности воздуха, на результаты измерения концентрации ионов в воздухе из-за увеличения тока утечки измерителя рассматривалась в работах [2,3].

Вместе с тем, в атмосфере, кроме ионов воздуха существуют аэрозоль и малые газы, которые также подвержены воздействию метеорологических факторов. В настоящей статье рассматривается вопрос об оценке влияния влажности на результирующую погрешность измерителя атмосферного электричества.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно работе [4], электрическая проводимость атмосферы σ_t может быть определена по формуле

$$\sigma_t = \frac{2\mu_m e q}{\beta_a Z_a} \quad (1)$$

где μ_m – усредненная величина электрической подвижности ионов; e – заряд электрона; q – скорость генерации ионов; β – коэффициент эффективного присоединения ионов к аэрозолю; Z_0 – концентрация частиц PM (аэрозоля).

Согласно [4], из-за малой подвижности заряженных аэрозолей их влияние на электрическую проводимость не учитывается. При этом градиент атмосферного электричества (PG) определяется как

$$PG = \frac{I_z \cdot \beta_a \cdot Z_a}{2\mu_m \cdot eq} \quad (2)$$

где I_z – плотность тока “Воздух – земля”.

Согласно [5], имеет место эмпирическая линейная зависимость между Z_0 и концентрацией малых газов в атмосфере X

$$Z_0 = Z_{0x} - Y_x X \quad (3)$$

где Y_x – коэффициент пропорциональности; Z_{0x} – фоновая величина PM .

С учетом (2) и (3) получим

$$PG = a_1 Z_{0x} - a_2 X \quad (4)$$

где $a_1, a_2 = const$.

На основе формулы (4) в работе [4] предлагается для оценки PG проводить измерения таких малых газов как NO_x, SO, O_3 .

Недостаток указанной методики оценки проводимости воздуха и в конечном счете прогноза сейсмических событий является отсутствие учета влияния влажности воздуха на результаты проводимых измерений. Далее, в настоящей статье предлагается метод учета изменения влажности воздуха для минимизации суммарной погрешности, возникающей из-за наличия RC инерционной цепочки в измерителе атмосферного электричества, функциональная схема которого показана на рис. 1.

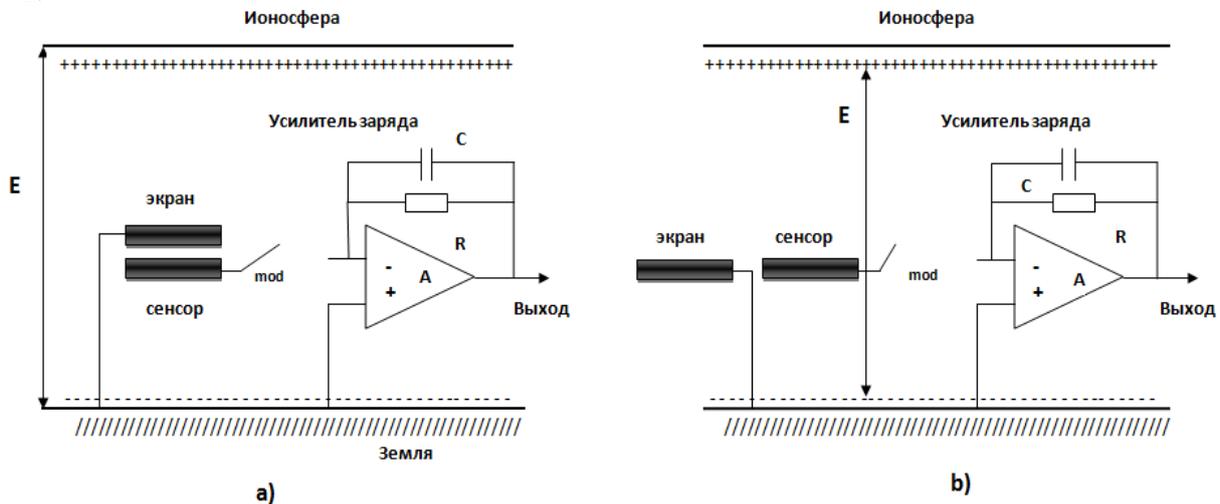


Рис. 1. а,б Функциональная схема измерителя атмосферного электричества [7]

3. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Далее рассматривается распределенная измерительная сеть, сенсоры которых установлены на сейсмоопасном участке. Рассматривается серийное сейсмическое событие, в котором после первого шока произошли некоторые разрушения зданий и в атмосфере появилось избыточное количество аэрозолей $PM_{2.5} + PM_{10}$ [5]. При этом сейсмоопасная зона довольно обширная и характеризуется анизотропностью в отношении влажности воздуха. Различие в значениях относительной влажности в

зонах размещения сенсоров сети приводит к тому, что избыточная аэрозоль, различающаяся как по размерам, так и по электрической заряженности увлажняясь оседают на землю.

При этом такое уменьшение концентрации разно – размерных аэрозольных частиц происходит с разной скоростью, что отображено на рис. 2 [6].

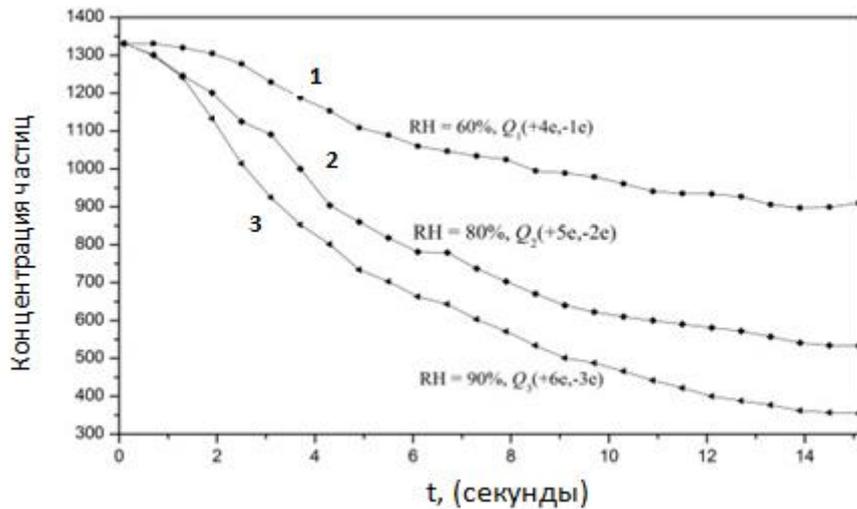


Рис. 2. Зависимость концентрации аэрозолей в атмосфере от характера электрического заряда. Цифрами обозначены: 1 – аэрозольные частицы с диаметром 200нм, имеющие заряд +4e и с диаметром 200нм с зарядом -1e; 2 – аэрозольные частицы с зарядами +5e и -2e; 3 – аэрозольные частицы с зарядом +6e и -3e.

Рассмотрим вопрос об оптимизации измерения показателя PG в распределенной сети, установленной на территории, гетерогенной в отношении влажности воздуха в отдельных точках установки сенсоров.

Как отмечено в работе [7], относительная погрешность измерителя атмосферного электричества, показанного на рис. 1, может быть вычислена по формуле

$$\delta = \exp\left(\frac{-T_0}{RC}\right) \tag{5}$$

где T_0 – время измерения сенсора, когда экран отведен от сенсора.

Примем:

$$T_0 = T_{01} + T_{02} \tag{6}$$

где T_{01} – время оседания увлажненного аэрозоля;

T_{02} – собственное время измерения электронного узла.

С учетом (5), (6) получаем

$$\delta = \exp\left(\frac{RC}{-[T_{01} + T_{02}]}\right) \tag{7}$$

Далее, следуя принципу адаптивного управления сенсором, примем функцию управления

$$RC = f(T_{01}) \tag{8}$$

Для выбора оптимального вида (8) примем ограничение

$$F_1 = \int_0^{T_{01 \max}} f(T_{01}) dT_{01} = C; \quad C = const \quad (9)$$

Целевой функционал оптимизации примем в виде интегрированной величины относительной погрешности.

$$F_2 = \int_0^{T_{01 \max}} \exp \left[\frac{f(T_{01})}{-(T_{01} + T_{02})} \right] dT_{01} \quad (10)$$

С учетом (9) и (10) сформируем следующий функционал безусловной вариационной оптимизации.

$$F_0 = \int_0^{T_{01 \max}} \exp \left[\frac{f(T_{01})}{-(T_{01} + T_{02})} \right] dT_{01} + \lambda \int_0^{T_{01 \max}} f(T_{01}) dT_{01} \quad (11)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Для вычисления оптимальной функции $f(T_{01})$ вычислим производную интегранта в (11) по $f(T_{01})$ и приравняем результат к нулю:

$$\exp \left[\frac{f(T_{01})}{-(T_{01} + T_{02})} \right] \cdot \left[\frac{T_{01} + T_{02}}{(T_{01} + T_{02})^2} \right] + \lambda = 0 \quad (12)$$

Из (12) находим:

$$\exp \left[\frac{f(T_{01})}{-(T_{01} + T_{02})} \right] = \frac{\lambda}{(T_{01} + T_{02})} \quad (13)$$

Из (13) получаем

$$f(T_{01}) = (T_{01} + T_{02}) \ln \left(\frac{T_{01} + T_{02}}{\lambda_0} \right) \quad (14)$$

где λ_0 – конкретно вычисляемая с помощью формул (14) и (9) величина λ .

Таким образом, при условии (14) F_0 достигает экстремума. Анализ знака второй производной интегранта по T_{01} показывает, что экстремум является максимумом.

Следовательно, полученное решение (14) характеризует наихудший вариант построения измерительной сети. Для обеспечения эффективной работы сети реальная функция $f(T_{01})$ должна максимально различаться от решения (14).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ влияния времени увлажнения аэрозоля в атмосферном воздухе на показатель интегрированной относительной погрешности показал наличие максимума такой интегральной оценки относительной погрешности в зависимости от вида искомой функции адаптивной зависимости временной постоянной RC цепочки от времени оседания увлажненного аэрозоля. Полученный максимум является условным и характеризует режим, в котором соблюдается интегральное ограничительное условие, наложенное на искомую функцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Warden S., Bleier T., Kappler K. Long term air ion monitoring in search of pre-earthquake signals// Journal of Atmospheric and Solar –Terrestrial Physic. 2019. Vol. 180. Pp. 47-60. www.elsevier.com/locate/jastp .
2. Aplin K. L. Instrumentation for atmospheric ion measurements// PhD thesis. University of Reading. 2000. <http://arxiv.org/abs/physics/0501106> .
3. Bleier T., Dunson C., Maniscalco M., Bryant N., Bambery R., Freund F. Investigation of ULF magnetic pulsations, air conductivity changes and infrared signatures associated with the 30 October Alum Rock M5. 4 earthquake// Nat. Hazards. Earth Syst. Sci. 200. Vol. 9(2). Pp. 586-603. <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/585/2009/nhess-9-585-2009.html> .
4. Silva H. G., Conceicao R., Khan M. A. H., Matthews J. C., Wright M. D., Collares-Pereira M., Shallcross D. E. Atmospheric electricity as a proxy for air quality: Relationship between potential gradient and pollutant gases in an urban environment// Journal of Electrostatic. 2016. Vol. 84. Pp. 32-41. www.elsevier.com/locate/elstat.
5. Somerwell E. R., Aberkane T. The effects on-going seismic activity on air quality in Canterbury, New Zealand// The Open Atmospheric Science Journal. 2014. Vol. 8. Pp. 1-6.
6. He Y., Gu Z., Lu W., Zhang L., Okuda T., Fujioka K., Luo H., Yu W. Atmospheric humidity and particle charging state on agglomeration of aerosol particles// Atmospheric Environment. 2019. Vol. 197. Pp. 141-149.
7. Fort A., Mugnaini M., Vignoli V., Rocchi S., Perini F., Monari J., schiafinino M., Flocchi F. Design and modeling of an optimized sensor for atmospheric electric field measurements.

ON THE POSSIBILITY OF VALIDITY IN NETWORKS OF MEASUREMENTS AND CONTROL OF ATMOSPHERIC ELECTRIC CONDUCTIVITY BY TAKING INTO ACCOUNT METEOROLOGY SITUATION

Djavadov N.H., Asadov H.H., Abdullaev N.A., Kazymly R.V.

Investigated is revealed is conditional maximum of relative error integral estimate determined the dependence of time constant of device RC-circuit on settling time of moistened aerosol.

KEYWORDS: ELECTRIC CONDUCTIVITY, ATMOSPHERE, AEROSOL, MOISTENING, OPTIMIZATION.