

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277491

PRODUCTION OF PHYSIOLOGICALLY COMPLETE DRINKING WATER USING MODIFIED REVERSE OSMOSIS MEMBRANE ELEMENTS (p. 6–13)**Artem Tyvonenko**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1755-3800>**Tetiana Mitchenko**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4876-5411>**Oleksii Homaniuk**Ukrainian Water Society WaterNet, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1174-6766>**Sergey Vasilyuk**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-0517>**Iryna Kosogina**National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9795-7110>**Rostyslav Mudryk**ECOSOFT SPC LTD, Irpin, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1180-6286>

Drinking water prepared using the most effective and popular reverse osmosis method is absolutely safe but for the most part does not meet the requirements for physiologically complete water. The latter must meet, in addition to the basic requirements, the following requirements: salt content, at least 100, and not more than 1000 mg/dm³; total hardness; in the range of 1–7.0 mmol/dm³. Now, to fulfill these requirements, the stage after desalting employs various methods of dominerization of reverse osmosis water, each of which has certain disadvantages.

This paper considers the task of obtaining safe physiologically complete water immediately after the stage of membrane desalting by using modified reverse osmosis membrane elements with the predefined selectivity. The study object was the process of obtaining reverse osmosis membrane elements with the predefined selectivity by modifying them with sodium hypochlorite solution for use in the process of obtaining physiologically complete drinking water.

The required level of selectivity of modified elements was calculated to obtain safe physiologically complete water from starting water, depending on its salt content. Thus, for the starting water with a salt content of 200–300 mg/dm³, the specified selectivity of the membrane element should be no more than 60 % at a temperature of 25 °C. Rational conditions for conducting the modification process for obtaining a membrane element with such exact selectivity have been established. The nature of the influence of changes in water temperature on the selectivity of the modified element was studied.

A prototype of the modified element was tested in a vending machine for pouring water, which purified tap water in the city of Kyiv, with a salt content of 230 mg/dm³ at a temperature

of 8–12 °C. The test results showed the possibility of one-stage obtaining safe physiologically complete water by reverse osmosis using a modified membrane element with the predefined selectivity of 50 %.

Keywords: reverse osmosis, modified membrane elements, predefined selectivity, physiologically complete water.

References

1. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoiu». Nakaz No. 400 vid 12.05.2010. Ministerstvo Okhorony Zdorovia Ukrainy. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
2. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) (Text with EEA relevance). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
3. National Primary Drinking Water Regulations. EPA 816-F-09-004 (2009). Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf
4. Guidelines for Drinking-Water Quality (2017). World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>
5. Remineralizatsiya vody, ochyshchenoi systemoiu zvorotnoho osmosu. Smak vody ta zdorovyi hluzd. Available at: <http://www.softwave.com.ua/remineralizatsiya-vodi-ukr/>
6. Vseredyni akvaboksu chystoi vody. BWT Aqua. Available at: <https://bwtaqua.com.ua/inside-bwt/>
7. Mitchenko, T. Ye., Ponomarov, V. L., Svetlieisha, O. M., Makarova, N. V., Orestov, Ye. O., Maletskyi, Z. V. et al. (2019). Seriya vydan «Svit suchasnoi vodopidhotovky» Metody i materialy. Kyiv: VUVT WaterNet, 132.
8. Filter Media. Clack. Available at: <https://www.clackcorp.com/water-treatment-ion-exchange-resin-filter-media/>
9. Mitchenko, T. Ye., Ponomarov, V. L., Vasyliuk, S. L., Kuzminchuk, A. V., Poliakov, V. R., Stender, P. V. et al. (2021). Seriya vydan «Svit suchasnoi vodopidhotovky» Tekhnolohichni rishennia. Kyiv: VUVT WaterNet, 80.
10. Lesimple, A., Ahmed, F. E., Hilal, N. (2020). Remineralization of desalinated water: Methods and environmental impact. *Desalination*, 496, 114692. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114692>
11. Tyvonenko, A., Mitchenko, T., Vasilyuk, S. (2022). Environmental problems caused by the use of reverse osmosis membrane elements, and ways to solve them. *Water and water purification technologies. Scientific and technical news*, 32 (1), 33–42. doi: <https://doi.org/10.20535/2218-930012022259491>
12. Khaless, K., Achoui, B., Boulif, R., Benhida, R. (2021). Recycling of Spent Reverse Osmosis Membranes for Second Use in the Clarification of Wet-Process Phosphoric Acid. *Minerals*, 11 (6), 637. doi: <https://doi.org/10.3390/min11060637>
13. Ouali, S., Loulergue, P., Biard, P.-F., Nasrallah, N., Szymczyk, A. (2021). Ozone compatibility with polymer nanofiltration membranes. *Journal of Membrane Science*, 618, 118656. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118656>
14. Ling, R., Yu, L., Pham, T. P. T., Shao, J., Chen, J. P., Reinhard, M. (2017). The tolerance of a thin-film composite polyamide reverse osmosis membrane to hydrogen peroxide exposure. *Journal of Membrane Science*, 524, 529–536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.11.041>

15. García-Pacheco, R., Landaburu-Aguirre, J., Lejarazu-Larrañaga, A., Rodríguez-Sáez, L., Molina, S., Ransome, T., García-Calvo, E. (2019). Free chlorine exposure dose (ppm-h) and its impact on RO membranes ageing and recycling potential. *Desalination*, 457, 133–143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.01.030>
16. Govardhan, B., Fatima, S., Madhumala, M., Sridhar, S. (2020). Modification of used commercial reverse osmosis membranes to nanofiltration modules for the production of mineral-rich packaged drinking water. *Applied Water Science*, 10 (11). doi: <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01312-1>
17. Maeda, Y. (2022). Roles of Sulfites in Reverse Osmosis (RO) Plants and Adverse Effects in RO Operation. *Membranes*, 12 (2), 170. doi: <https://doi.org/10.3390/membranes12020170>
18. Antony, A., Fudianto, R., Cox, S., Leslie, G. (2010). Assessing the oxidative degradation of polyamide reverse osmosis membrane – Accelerated ageing with hypochlorite exposure. *Journal of Membrane Science*, 347 (1-2), 159–164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.10.018>
19. FilmTec™ Reverse Osmosis Membranes Technical Manual. *Water Solutions* (2023). Available at: <https://www.dupont.com/content/dam/dupont/amer/us/en/water-solutions/public/documents/en/RO-NF-FilmTec-Manual-45-D01504-en.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276779

COMPARISON OF BICOHERENCE ON THE ENSEMBLE OF REALIZATIONS AND A SELECTIVE EVALUATION OF THE BISPECTRUM OF THE DYNAMICS OF DANGEROUS PARAMETERS OF THE GAS MEDIUM DURING FIRE (p. 14–21)

Boris Pospelov

Scientific-Methodical Center of Educational Institutions
in the Sphere of Civil Defence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0957-3839>

Evgeniy Rybka

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5396-5151>

Dmytro Polkovnychenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7875-3350>

Iryna Myskovets

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9248-4919>

Yuliia Bezuhla

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4022-2807>

Tetiana Butenko

Scientific-Methodical Center of Educational Institutions
in the Sphere of Civil Defence, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0115-7224>

Serhii Harbuz

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6345-6214>

Larysa Prokhorova

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,
Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7693-1897>

Olga Levada

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,
Melitopol, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7441-8846>

Mikhail Kravtsov

Kharkiv National Automobile and Highway University,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3218-2182>

The object of the study is the bicoherence of the bispectrum assessment of the dynamics of dangerous parameters of the gas environment during the ignition of materials. The subject is a measure of bicoherence of the bispectrum estimation from the ensemble of realizations and selective bispectrum estimation for the dynamics of hazardous parameters of the gas environment. The practical importance of the research is the use of the measure of bicoherence of the bispectrum for the early detection of fires. The measure of bicoherence of the dynamics of hazardous parameters of the gas environment is substantiated, which allows them to be numerically compared for the studied bispectrum estimates. As such measure, it is proposed to use the integral value of bicoherence for a given frequency interval, which makes it possible to numerically compare the bicoherence of bispectrum estimates for arbitrary time intervals of the dynamics of hazardous parameters of the gas environment. On the basis of the proposed measure for the frequency range of 0.2–2 Hz, a comparison of the integral bicoherence of the bispectrum estimates was made. The numerical value of the measure was determined for three fixed time intervals of the dynamics of hazardous parameters of the environment, corresponding to the absence of ignition, the occurrence of ignition, and the subsequent burning of test materials in the laboratory chamber. According to the results of the comparison of such values, it was established that the bicoherence of the bispectrum estimation from the ensemble of realizations is the most appropriate for detecting fires. When ignited, the numerical value of the measure for all test materials is about 90°. This means that the nature of the dynamics of hazardous environmental parameters in the event of fires becomes random. In this regard, the proposed measure is recommended to be used as a test for early detection of fires.

Keywords: early fire detection, bispectrum assessment, bicoherence, dangerous parameters, gaseous medium.

References

1. Vambol, S., Vambol, V., Sychikova, Y., Deyneko, N. (2017). Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (85)), 27–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847>
2. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsymbal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 4–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
3. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Suchikova, Y., Hurenko, O. (2017). Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arranging the system of pollutant neutralization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (87)), 63–73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102314>
4. Semko, A. N., Beskrovnaya, M. V., Vinogradov, S. A., Hritsina, I. N., Yagudina, N. I. (2014). The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 52 (3), 655–664.
5. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Maksymenko, N., Meleshchenko, R. et al. (2020). Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring

- the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (106)), 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
6. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V. et al. (2019). Physical Features of Pollutants Spread in the Air During the Emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*, 4 (84), 88–98. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).11)
 7. Otrosh, Y., Rybka, Y., Danilin, O., Zhuravskiy, M. (2019). Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. *E3S Web of Conferences*, 123, 01012. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301012>
 8. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Koloskov, V., Suchikova, Y. (2018). Substantiation of expedience of application of high-temperature utilization of used tires for liquefied methane production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2 (87), 77–84. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.2830>
 9. Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. doi: <http://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
 10. Ragimov, S., Sobyna, V., Vambol, S., Vambol, V., Feshchenko, A., Zakora, A. et al. (2018). Physical modelling of changes in the energy impact on a worker taking into account high-temperature radiation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 1 (91), 27–33. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.9654>
 11. Vambol, S., Vambol, V., Bogdanov, I., Suchikova, Y., Rashkevich, N. (2017). Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118213>
 12. Kovalov, A., Otrosh, Y., Rybka, E., Kovalevska, T., Togobytska, V., Rolin, I. (2020). Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. *Materials Science Forum*, 1006, 179–184. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.179>
 13. Otrosh, Y., Semkiv, O., Rybka, E., Kovalov, A. (2019). About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708 (1), 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>
 14. Kondratenko, O. M., Vambol, S. O., Stokov, O. P., Avramenko, A. M. (2015). Mathematical model of the efficiency of diesel particulate matter filter. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 6, 55–61.
 15. Vasyukov, A., Loboichenko, V., Bushtec, S. (2016). Identification of bottled natural waters by using direct conductivity. *Ecology, Environment and Conservation*, 22 (3), 1171–1176.
 16. Pospelov, B., Kovrehin, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Petukhova, O., Butenko, T. et al. (2020). Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>
 17. Kovalov, A., Otrosh, Y., Ostroverkh, O., Hrushovinchuk, O., Savchenko, O. (2018). Fire resistance evaluation of reinforced concrete floors with fire-retardant coating by calculation and experimental method. *E3S Web of Conferences*, 60, 00003. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000003>
 18. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Biryukov, I., Butenko, T. et al. (2021). Short-term fire forecast based on air state gain recurrence and zero-order brown model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233606>
 19. Center for Fire Statistics (2022). *World Fire Statistics*, 27. Available at: https://www.ctif.org/sites/default/files/2022-08/CTIF_Report27_ESG.pdf
 20. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
 21. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
 22. Pospelov, B., Rybka, E., Krainiukov, O., Yashchenko, O., Bezuhla, Y., Bielai, S. et al. (2021). Short-term forecast of fire in the premises based on modification of the Brown's zero-order model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (112)), 52–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238555>
 23. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilov, M., Krainiukov, O., Biryukov, I. et al. (2021). Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226692>
 24. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by selfadjusting fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (89)), 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>
 25. Cheng, C., Sun, F., Zhou, X. (2011). One fire detection method using neural networks. *Tsinghua Science and Technology*, 16 (1), 31–35. doi: [https://doi.org/10.1016/s1007-0214\(11\)70005-0](https://doi.org/10.1016/s1007-0214(11)70005-0)
 26. Ding, Q., Peng, Z., Liu, T., Tong, Q. (2014). Multi-Sensor Building Fire Alarm System with Information Fusion Technology Based on D-S Evidence Theory. *Algorithms*, 7 (4), 523–537. doi: <https://doi.org/10.3390/a7040523>
 27. Wu, Y., Harada, T. (2004). Study on the Burning Behaviour of Plantation Wood. *Scientia Silvae Sinicae*, 40, 131. doi: <https://doi.org/10.11707/j.1001-7488.20040223>
 28. Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental Study on Effects of Burning Behaviours of Materials Caused by External Heat Radiation. *JCST*, 9, 139.
 29. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental Analysis on Heat Release Rate of Materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.
 30. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S. (2018). Analysis of correlation dimensionality of the state of a gas medium at early ignition of materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (95)), 25–30. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142995>
 31. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borydych, P. (2018). Studying the recurrent diagrams of carbon monoxide concentration at early ignitions in premises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (93)), 34–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133127>
 32. Pospelov, B., Rybka, E., Togobytska, V., Meleshchenko, R., Danchenko, Y., Butenko, T. et al. (2019). Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (100)), 22–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176579>
 33. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Karpets, K., Pirohov, O. et al. (2019). Development of the correlation method

- for operative detection of recurrent states. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (102)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187252>
34. Sadkovyi, V., Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Rud, A. et al. (2020). Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>
 35. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Harbuz, S., Bezuhla, Y. et al. (2020). Use of uncertainty function for identification of hazardous states of atmospheric pollution vector. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (104)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200140>
 36. Gottuk, D. T., Wright, M. T., Wong, J. T., Pham, H. V., Rose-Pehrson, S. L., Hart, S. et al. (2002). Prototype early warning fire detection systems: Test Series 4 Results. NRL/MR/6180–02–8602. Naval Research Laboratory. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA399480.pdf>
 37. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Bezuhla, Y., Liashevskaya, O., Butenko, T. et al. (2022). Empirical cumulative distribution function of the characteristic sign of the gas environment during fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (118)), 60–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263194>
 38. Pospelov, B., Rybka, E., Savchenko, A., Dashkovska, O., Harbuz, S., Naden, E. et al. (2022). Peculiarities of amplitude spectra of the third order for the early detection of indoor fires. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (119)), 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265781>
 39. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Chubko, L., Bezuhla, Y., Gordiichuk, S. et al. (2023). Revealing the peculiarities of average bicoherence of frequencies in the spectra of dangerous parameters of the gas environment during fire. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (121)), 46–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272949>
 40. Du, L., Liu, H., Bao, Z., Xing, M. (2005). Radar HRRP target recognition based on higher order spectra. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53 (7), 2359–2368. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2005.849161>
 41. Hayashi, K., Mukai, N., Sawa, T. (2014). Simultaneous bicoherence analysis of occipital and frontal electroencephalograms in awake and anesthetized subjects. *Clinical Neurophysiology*, 125 (1), 194–201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.06.024>
 42. Polstiankin, R. M., Pospelov, B. B. (2015). Stochastic models of hazardous factors and parameters of a fire in the premises. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 38, 130–135. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2015_38_24
 43. Spovishchuvachpozhezhnyiteplovyitochkovyi. ARTON. Available at: <https://ua.arton.com.ua/files/passports/%D0%A2%D0%9F%D0%A2-4-UA.pdf>
 44. Spovishchuvach pozhezhnyi dymovyi tochkovyi optychnyi. ARTON. Available at: https://ua.arton.com.ua/files/passports/spd-32_new_pas_ua.pdf
 45. Optical/Heat Multisensor Detector. Discovery. Available at: <https://www.nsc-hellas.gr/pdf/APOLLO/discovery/B02704-00%20Discovery%20Multisensor%20Heat-%20Optical.pdf>
 46. McGrattan K., Hostikka S., McDermott R., Floyd J., Weinschenk C., Overholt K. (2016). Fire dynamics simulator technical reference guide. Volume 3: Validation. National Institute of Standards and Technology. Available at: https://www.fse-italia.eu/PDF/Manuali-FDS/FDS_Validation_Guide.pdf
 47. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., Overholt, K. (2013). Fire Dynamics Simulator User's Guide. National Institute of Standard and Technology. Available at: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=913619
 48. Saeed, M., Alfatih, S. (2013). Nonlinearity detection in hydraulic machines utilizing bispectral analysis. *TJ Mechanical engineering and machinery*. Available at: <http://eprints.utm.my/id/eprint/42178/>
 49. Yang, K., Zhang, R., Chen, S., Zhang, F., Yang, J., Zhang, X. (2015). Series Arc Fault Detection Algorithm Based on Autoregressive Bispectrum Analysis. *Algorithms*, 8 (4), 929–950. doi: <https://doi.org/10.3390/a8040929>
 50. Yang, B., Wang, M., Zan, T., Gao, X., Gao, P. (2021). Application of Bispectrum Diagonal Slice Feature Analysis in Tool Wear States Monitoring. *Research Square*. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-775113/v1>
 51. Chua, K. C., Chandran, V., Acharya, U. R., Lim, C. M. (2010). Application of higher order statistics/spectra in biomedical signals – A review. *Medical Engineering & Physics*, 32 (7), 679–689. doi: <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.04.009>
 52. Chua, K. C., Chandran, V., Acharya, U. R., Lim, C. M. (2008). Cardiac state diagnosis using higher order spectra of heart rate variability. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 32 (2), 145–155. doi: <https://doi.org/10.1080/03091900601050862>
 53. Nikias, C. L., Raghuveer, M. R. (1987). Bispectrum estimation: A digital signal processing framework. *Proceedings of the IEEE*, 75 (7), 869–891. doi: <https://doi.org/10.1109/proc.1987.13824>
 54. Cui, L., Xu, H., Ge, J., Cao, M., Xu, Y., Xu, W., Sumarac, D. (2021). Use of Bispectrum Analysis to Inspect the Non-Linear Dynamic Characteristics of Beam-Type Structures Containing a Breathing Crack. *Sensors*, 21 (4), 1177. doi: <https://doi.org/10.3390/s21041177>
 55. Martín-Montero, A., Gutiérrez-Tobal, G. C., Kheirandish-Gozal, L., Jiménez-García, J., Álvarez, D. et al. (2020). Heart rate variability spectrum characteristics in children with sleep apnea. *Pediatric Research*, 89 (7), 1771–1779. doi: <https://doi.org/10.1038/s41390-020-01138-2>
 56. Max, J. (1981). *Principes généraux et méthodes classiques*. Vol. 1. Paris.
 57. Mohankumar, K. (2015). Implementation of an underwater target classifier using higher order spectral features. Available at: <https://dyuthi.cusat.ac.in/xmlui/bitstream/handle/purl/5368/T-2396.pdf?sequence=1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275550

DETERMINING THE THERMAL-PHYSICAL CHARACTERISTICS OF A COKE FOAM LAYER IN THE FIRE PROTECTION OF CABLE ARTICLES WITH FOAMING COATING (p. 22–30)

Yuriy Tsapko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0625-0783>

Ruslan Likhnyovskiy

Institute of Public Administration and Research in Civil
Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9187-9780>

Aleksii Tsapko

Ukrainian State Research Institute “Resurs”, Kyiv, Ukraine
Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2298-068X>

Vitalii Kovalenko

Institute of Public Administration and Research in Civil
Protection, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5780-5684>

Oksana Slutska

Institute of Public Administration and Research
in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1723-8181>

Pavlo Illiuchenko

Institute of Public Administration and Research
in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6687-6388>

Rostyslav Kravchenko

Institute of Public Administration and Research
in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1410-4567>

Maryna Sukhanevych

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9644-2852>

An issue related to using cable products for building structures is to ensure their stability and durability when operating within wide limits. Therefore, the object of research was a change in the properties of the polymer sheath of the cable during the formation of a swollen coating layer under the influence of high temperature. It is proved that in the process of thermal action on the flame retardant coating, the process of thermal insulation of the cable involves the formation of particulate products on the surface of the sample. Under the action of the burner flame, a temperature was reached on the surface of the sample, which led to a swelling of the coating of more than 16 mm. The measured temperature on the inverse surface of the sample was no more than 160 °C, which indicates the formation of a barrier for temperature. In this regard, a calculation and experimental method for determining thermal conductivity when using a flame retardant as a coating has been developed, which makes it possible to estimate the coefficients of temperature conductivity and thermal conductivity under high-temperature action. According to the experimental data and established dependences, the coefficients of temperature conductivity and thermal conductivity of wood were calculated, which are $214.4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ and $0.62 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, respectively, due to the formation of a heat-insulating swollen layer. The maximum possible temperature penetration through the thickness of the coating was assessed. A temperature was created on the surface of the sample, which significantly exceeds the ignition temperature of the polymer sheath of the cable, and, on a non-heated surface, does not exceed 160 °C. Thus, there is reason to argue about the possibility of directed adjustment of the fire protection processes of an electrical cable by using coatings capable of forming a protective layer on the surface of the material, which inhibits the rate of heat transfer.

Keywords: fire retardants for cable products, electrical cable, combustion of polymer cable sheath, cable surface treatment, coating.

References

- Barnes, M. A., Briggs, P. J., Hirschler, M. M., Matheson, A. F., O'Neill, T. J. (1996). A Comparative Study of the Fire Performance of Halogenated and Non-Halogenated Materials for Cable Applications. Part I Tests on Materials and Insulated Wires. *Fire and Materials*, 20 (1), 1–16. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-1018\(199601\)20:1<1::aid-fam553>3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-1018(199601)20:1<1::aid-fam553>3.0.co;2-w)
- Canaud, C., Visconte, L. L. Y., Sens, M. A., Nunes, R. C. R. (2000). Dielectric properties of flame resistant EPDM composites. *Polymer Degradation and Stability*, 70 (2), 259–262. doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(00\)00124-5](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(00)00124-5)
- Kong, W.-J., Wang, B.-R., Lao, S.-Q. (2007). Study on fire precursor of wire insulation in low-pressure environments. *Journal of Engineering Thermophysics*, 28 (6), 1047–1049.
- Nakamura, Y., Yoshimura, N., Matsumura, T., Ito, H., Fujita, O. (2007). Flame Spread Along PE-Insulated Wire in Sub-Atmospheric Pressure Enclosure. *ASME/JSME 2007 Thermal Engineering Heat Transfer Summer Conference*, Volume 1. doi: <https://doi.org/10.1115/ht2007-32657>
- Shen, K. K., Kochesfahani, S., Jouffret, F. (2010). Fire retardant polyamides-present technology and challenges. 21st Annual Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials. Available at: https://www.researchgate.net/publication/286798401_Fire_retardant_polyamides-present_technology_and_challenges
- Acquasanta, F., Berti, C., Colonna, M., Fiorini, M., Karanam, S. (2011). Study of Glow Wire Ignition Temperature (GWIT) and Comparative Tracking Index (CTI) performances of engineering thermoplastics and correlation with material properties. *Polymer Degradation and Stability*, 96 (4), 566–573. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.12.024>
- Tellaetxe, A., Blázquez, M., Arteché, A., Egizabal, A., Ermini, V., Rose, J. et al. (2012). Life cycle assessment of the application of nanoclays in wire coating. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 40, 012014. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/40/1/012014>
- Fu, S., Qiu, M., Zhang, H., Zhu, J., Liu, H. (2016). Analysis of Thermal Stability of Superconducting Windings Using Core Cable With YBCO Coated Conductors. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. doi: <https://doi.org/10.1109/tasc.2016.2535976>
- Wang, Z., Li, H. H., Wang, J. (2018). Dripping Behavior of Wire Fire under Varying Pressure and Electric Current. *Key Engineering Materials*, 775, 7–12. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.775.7>
- Kerekes, Z., Restás, Á., Lublőy, É. (2019). The effects causing the burning of plastic coatings of fire-resistant cables and its consequences. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139 (2), 775–787. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08526-9>
- Perka, B., Piwowarski, K. (2021). A Method for Determining the Impact of Ambient Temperature on an Electrical Cable during a Fire. *Energies*, 14 (21), 7260. doi: <https://doi.org/10.3390/en14217260>
- Li, X., Yang, J., Yan, B., Zheng, X. (2018). Insulated Cable Temperature Calculation and Numerical Simulation. *MATEC Web of Conferences*, 175, 03014. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817503014>
- Wang, J., Shu, Z.-J., Chen, Z. (2013). The protective effect of a fire-retardant coating on the insulation failure of PVC cable. *Engineering Failure Analysis*, 34, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.07.010>
- Tsapko, Y., Bondarenko, O., Tsapko, A., Sarapin, Y. (2022). Application of Coating for Fire Protection of Textile Structures. *Key Engineering Materials*, 927, 115–121. doi: <https://doi.org/10.4028/p-vd6w4b>
- Likhnyovskiy, R., Tsapko, A., Kovalenko, V., Onyshchuk, A. (2022). Application of Intumescent Coating for Increasing Fire-Resistance Values of Cable Products. *Key Engineering Materials*, 927, 105–114. doi: <https://doi.org/10.4028/p-2c1e3p>
- Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O., Chudovska, V. (2021). Thermophysical characteristics of the formed layer of foam coke when protecting fabric from fire by a formulation based on modified phosphorus-ammonium compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 34–41. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233479>

17. Janna, W. S. (2009). *Engineering Heat Transfer*. CRC Press, 692. Available at: <https://www.routledge.com/Engineering-Heat-Transfer/Janna/p/book/9781420072020>
18. Potter, M. C. (2019). *Engineering analysis*. Springer, 434. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91683-5>
19. Lykov, A. V. (1967). *Teoriya teploprovodnosti*. Moscow: «Vysshaya shkola», 600. Available at: <https://www.twirpx.com/file/2286982/>
20. Uwa, C. A., Abe, B., Nnachi, A. F., Sadiku, E. R., Jamiru, T. (2021). Experimental investigation of thermal and physical properties of nanocomposites for power cable insulations. *Materials Today: Proceedings*, 38, 823–829. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.670>
21. Bronin, F. A. (2008). *Gorelki laboratornye. Ustroystvo i kharakteristiki*. Available at: <http://www.bststgr.narod.ru>
22. Kryzhanovskiy, V. N., Kryzhanovskiy, Yu. V. (2012). *Struktura i raschet gazovogo fakela*. Kyiv: «Osvita Ukrainy», 96. Available at: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2264>
23. Tsapko, Y., Horbachova, O., Mazurchuk, S., Tsapko, A., Sokolenko, K., Matviichuk, A. (2022). Establishing regularities of wood protection against water absorption using a polymer shell. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (115)), 48–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252176>
24. Tsapko, Y., Lomaha, V., Vasylyshyn, R., Melnyk, O., Balanyuk, V., Tsapko, A. et al. (2022). Establishing regularities in the reduction of flammable properties of wood protected with two-component intumescent varnish. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (117)), 63–71. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.259582>
25. Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. (2021). Defining patterns of heat transfer through the fire-protected fabric to wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (114)), 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245713>
26. Tsapko, Y., Rogovskii, I., Titova, L., Bilko, T., Tsapko, A., Bondarenko, O., Mazurchuk, S. (2020). Establishing regularities in the insulating capacity of a foaming agent for localizing flammable liquids. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (107)), 51–57. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215130>
27. Tsapko, Y., Rogovskii, I., Titova, L., Shatrov, R., Tsapko, A., Bondarenko, O., Mazurchuk, S. (2020). Establishing patterns of heat transfer to timber through a protective structure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 65–71. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217970>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276653

LEVEL OF FIRE DANGER OF THE LOCAL TERRITORY (p. 31–38)

Maksym Kustov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6960-6399>

Oleg Fedoryaka

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6381-5985>

Viacheslav Kononovych

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8036-2399>

Batyr Khalmuradov

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2225-6528>

Pavlo Borodych

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9933-8498>

Tymur Kurtseitov

The National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6478-6469>

Anatolii Nikitin

The National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1487-0616>

Valentyn Romaniuk

The National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7767-2268>

Ivan Meshcheriakov

The National Defence University of Ukraine
named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5797-0735>

Julia Veretennikova

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv,
Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0245-704X>

The object of the study is the fire risk of the local area. The problem to be solved is to take into account most of the significant parameters in the territorial placement of fire-rescue units of different functional capacities. As part of the solution to this problem, a technique for assessing the fire risk of a large-scale local area has been developed. The methodology is focused on local territories of a large area with a low population density. A special feature of the proposed method is the differentiated fire risk assessment of each point of the surface plane. For such an assessment, the parameters that are decisive from the point of view of impact on the fire hazard are analyzed and structured. The specified factors include the spatial distribution of population density and buildings, the transport and communication network, the spatial distribution of the density and type of vegetation, and statistical data on landscape fires. The use of existing geo-informational resources in real time is foreseen. A new approach of ranking the fire risk of the elementary plane of the territory in accordance with the necessary number of resources of rescue units to ensure the appropriate level of safety is proposed. Neural network data processing methods were used to compare local area parameters with fire risk ranks. A neural network capable of comparing the fire risk of the territory with its parameters was obtained. The functionality of the developed methodology was tested and the fire risk levels of an arbitrary area were graded with an average degree of correlation of 0.97. The proposed method allows for assessment and correction of the state of provision of local territories with civil protection resources. The developed methodology is especially relevant when creating new fire and rescue units of territorial communities.

Keywords: fire risk, local territory, fire station, service area, neural network, population density.

References

1. Vambol, S., Vambol, V., Sychikova, Y., Deyneko, N. (2017). Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (85)), 27–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847>
2. Vambol, S., Vambol, V., Bogdanov, I., Suchikova, Y., Rashkevich, N. (2017). Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 57–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118213>

3. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsymbal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 4–17. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
4. Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. doi: <http://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
5. Ragimov, S., Sobyna, V., Vambol, S., Vambol, V., Feshchenko, A., Zakora, A. et al. (2018). Physical modelling of changes in the energy impact on a worker taking into account high-temperature radiation. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 91 (1), 27–33. doi: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.9654>
6. Vambol, S., Vambol, V., Sobyna, V., Koloskov, V., Poberezhna, L. (2019). Investigation of the energy efficiency of waste utilization technology, with considering the use of low-temperature separation of the resulting gas mixtures. *Energetika*, 64 (4). doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i4.3893>
7. Kovalov, A., Otrosh, Y., Rybka, E., Kovalevska, T., Togobytska, V., Rolin, I. (2020). Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. *Materials Science Forum*, 1006, 179–184. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.179>
8. Otrosh, Y., Rybka, Y., Danilin, O., Zhuravskiy, M. (2019). Assessment of the technical state and the possibility of its control for the further safe operation of building structures of mining facilities. *E3S Web of Conferences*, 123, 01012. doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301012>
9. Migalenko, K., Nuianzin, V., Zemlianskiy, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (91)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727>
10. Dadashov, I., Loboichenko, V., Kireev, A. (2018). Analysis of the ecological characteristics of environment friendly fire fighting chemicals used in extinguishing oil products. *Pollution Research*, 37 (1), 63–77. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/6849>
11. Vasyukov, A., Loboichenko, V., Bushtec, S. (2016). Identification of bottled natural waters by using direct conductometry. *Ecology, Environment and Conservation*, 22 (3), 1171–1176. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1633>
12. Pospelov, B., Kovrehin, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Petukhova, O., Butenko, T. et al. (2020). Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>
13. Kustov, M. V., Kalugin, V. D., Tutunik, V. V., Tarakhno, E. V. (2019). Physicochemical principles of the technology of modified pyrotechnic compositions to reduce the chemical pollution of the atmosphere. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 1, 92–99. doi: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-122-1-92-99>
14. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
15. Pospelov, B., Rybka, E., Krainiukov, O., Yashchenko, O., Bezuhla, Y., Bielai, S. et al. (2021). Short-term forecast of fire in the premises based on modification of the Brown's zero-order model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (112)), 52–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238555>
16. Tiutiunyk, V. V., Ivanets, H. V., Tolkunov, I. A., Stetsyuk, E. I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 1, 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>
17. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Maksymenko, N., Meleshchenko, R. et al. (2020). Mathematical model of determining a risk to the human health along with the detection of hazardous states of urban atmosphere pollution based on measuring the current concentrations of pollutants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (106)), 37–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210059>
18. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Harbuz, S., Bezuhla, Y. et al. (2020). Use of uncertainty function for identification of hazardous states of atmospheric pollution vector. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (104)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.200140>
19. Xia, Z., Li, H., Chen, Y., Yu, W. (2019). Integrating Spatial and Non-Spatial Dimensions to Measure Urban Fire Service Access. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8 (3), 138. doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi8030138>
20. Semko, A. N., Beskrovnaya, M. V., Vinogradov, S. A., Hritsina, I. N., Yagudina, N. I. (2014). The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 52 (3), 655–664.
21. Dong, X., Li, Y., Pan, Y., Huang, Y., Cheng, X. (2018). Study on Urban Fire Station Planning based on Fire Risk Assessment and GIS Technology. *Procedia Engineering*, 211, 124–130. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.129>
22. Liu, Z.-G., Li, X.-Y., Jomaas, G. (2022). Effects of governmental data governance on urban fire risk: A city-wide analysis in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 78, 103138. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103138>
23. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Biryukov, I., Butenko, T. et al. (2021). Short-term fire forecast based on air state gain recurrence and zero-order brown model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 27–33. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233606>
24. Sadkovyi, V., Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Rud, A. et al. (2020). Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 14–22. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>
25. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilov, M., Krainiukov, O., Biryukov, I. et al. (2021). Development of the method of operational forecasting of fire in the premises of objects under real conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (110)), 43–50. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.226692>
26. Resolution of the CMU No. 715 05.09.2018. On the approval of the criteria by which the degree of risk from economic activity is assessed and the periodicity of planned measures of state supervision (control) in the field of man-made and fire safety by the State Service for Emergency Situations is determined (2018). Kyiv.
27. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Karpets, K., Pirohov, O. et al. (2019). Development of the correlation method for operative detection of recurrent states. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (102)), 39–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.187252>

28. Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E. (2017). Development of a method to improve the performance speed of maximal fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (86)), 32–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96694>
29. Jain, S., Jain, S. S., Jain, G. (2017). Traffic Congestion Modeling Based on Origin and Destination. *Procedia Engineering*, 187, 442–450. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.398>
30. Dubinin, D., Lisniak, A., Shcherbak, S., Cherkashyn, O., Beliuhenko, D., Hovalenkov, S. et al. (2022). Research and justification of the time for conducting operational actions by fire and rescue units to rescue people in a fire. *Sigurnost*, 64 (1), 35–46. doi: <https://doi.org/10.31306/s.64.1.5>
31. Matthews, P. (2018). Station design: a GIS approach to fire station and EMS projects. *Firehouse*. Available at: <https://www.firehouse.com/stations/news/21011087/station-design-a-gis-approach-to-fire-station-and-ems-projects>
32. Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J., Li, X., Liu, R. (2017). A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6 (2), 53. doi: <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
33. Keane, R. E., Drury, S. A., Karau, E. C., Hessburg, P. F., Reynolds, K. M. (2010). A method for mapping fire hazard and risk across multiple scales and its application in fire management. *Ecological Modelling*, 221 (1), 2–18. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.10.022>
34. Ma, C., Zhou, J., Xu, X. (Daniel), Xu, J. (2020). Evolution Regularity Mining and Gating Control Method of Urban Recurrent Traffic Congestion: A Literature Review. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/5261580>
35. Jia, X., Gao, Y., Wei, B., Wang, S., Tang, G., Zhao, Z. (2019). Risk Assessment and Regionalization of Fire Disaster Based on Analytic Hierarchy Process and MODIS Data: A Case Study of Inner Mongolia, China. *Sustainability*, 11 (22), 6263. doi: <https://doi.org/10.3390/su11226263>
36. Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Available at: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov>
37. Global Fire Atlas. Available at: <https://www.globalfiredata.org/fireatlas.html>
38. Otrosh, Y., Semkiv, O., Rybka, E., Kovalov, A. (2019). About need of calculations for the steel framework building in temperature influences conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 708 (1), 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>
39. Kovalov, A. I., Otrosh, Y. A., Vedula, S., Danilin, O. M., Kovalovska, T. M. (2019). Parameters of fire-retardant coatings of steel constructions under the influence of climatic factors. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-3/9>
40. Chuvieco, E., Aguado, I., Jurdao, S., Pettinari, M. L., Yebra, M., Salas, J. et al. (2014). Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*, 23 (5), 606. doi: <https://doi.org/10.1071/wf12052>
41. Pospelov, B., Rybka, E., Togobytska, V., Meleshchenko, R., Danchenko, Y., Butenko, T. et al. (2019). Construction of the method for semi-adaptive threshold scaling transformation when computing recurrent plots. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (100)), 22–29. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176579>
42. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V. et al. (2019). Physical Features of Pollutants Spread in the Air During the Emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*, 4 (84), 88–98. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).11)
43. Roy, S., Swetnam, T., Trochim, E., Schwehr, K., Pasquarella, V. (2023). *samapriya/awesome-gee-community-datasets: Community Catalog (1.0.3)*. Zenodo. 2023. Available at: <https://zenodo.org/record/7514665#.ZCxcgHnZBzIU>
44. Lang, N., Jetz, W., Schindler, K., Wegner, J. D. (2022). A high-resolution canopy height model of the Earth. *arXiv*. doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.08322>
45. Kustov, M. V., Kalugin, V. D., Hristich, O. V., Hapon, Y. K. (2021). Recovery Method for Emergency Situations with Hazardous Substances Emission into the Atmosphere. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 11 (4), 419–426. doi: <https://doi.org/10.18280/ijss.110415>
46. Melnichenko, A., Kustov, M., Basmanov, O., Tarasenko, O., Bogatov, O., Kravtsov, M. et al. (2022). Devising a procedure to forecast the level of chemical damage to the atmosphere during active deposition of dangerous gases. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (115)), 31–40. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251675>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277999

DETERMINATION OF FIRE PROTECTION DISTANCES DURING A TESLA MODEL S FIRE IN A CLOSED PARKING LOT (p. 39–46)

Andrii Gavryliuk

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8727-9950>

Roman Yakovchuk

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5523-5569>

Dmytro Chalyy

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7136-6582>

Mykhailo Lemishko

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5148-9394>

Nazarii Tur

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
Kleparivska str., 35, Lviv, Ukraine, 79007
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0557-5351>

This study modelled an electric vehicle fire on the example of a Tesla Model S (USA) in a closed car park. Such fires pose an increased danger due to their rapid spread, the presence of a large number of vehicles, the release of toxic combustion products and heavy smoke. In fact, the rapid spread of a fire in a closed car park is caused by unreasonably small distances between vehicles. Thus, the purpose of the study was to determine the minimum fire protection distances due to an electric vehicle fire in a closed car park using the example of Tesla Model 3.

For this purpose, the objects and their physical characteristics were described, input and environmental parameters were set, and a mathematical model of the dynamics of fire development was formed. This made it possible to establish the minimum fire protection distance during the free development time of 610 s for an electric vehicle fire in a closed car park, which is 10 m along the flank and 6 m along the front. The difference in fire protection distances on the flank and front is explained by the design features of the electric vehicle. That is, the flank area of the flame will be larger than the front of the burning electric vehicle, and therefore the heat radiation power will also be greater. The actual heat radiation power is the key factor affecting fire protection distances.

The results of the study can be used in the design of various types of car parks and the safe placement of vehicles in them. Fire protection distances between cars in enclosed car parks can be taken

into account by insurance companies when assessing the risk of damage to cars due to fires. And also by fire and rescue units involved in extinguishing such fires, to ensure the safety of rescuers.

Keywords: fire protection distance in a car park, FDS modelling of Tesla Model 3 fire, electric vehicle fire.

References

- Wang, Y.-W., Shu, C.-M. (2022). Energy generation mechanisms for a Li-ion cell in case of thermal explosion: A review. *Journal of Energy Storage*, 55, 105501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105501>
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*, 18 (5), 252–264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2014.10.040>
- Yacoub Al Shdaifat, M., Zulkifli, R., Sopian, K., Adel Salih, A. (2022). Basics, properties, and thermal issues of EV battery and battery thermal management systems: Comprehensive review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 237 (2-3), 295–311. <https://doi.org/10.1177/09544070221079195> doi: <https://doi.org/10.1177/09544070221079195>
- Tesla Model S catches fire at supercharger station in Norway. Available at: <https://www.extremetech.com/extreme/220237-tesla-model-s-catches-fire-at-supercharger-station-in-norway>
- Kim, Y. H. How to resolve electric vehicle fires. National Fire Research Institute of Korea. *Fire Protection News*. Available at: <https://www.fpn119.co.kr/171590>
- Tesla Model S Catches Fire Near Seattle, No Injuries Reported (2013). Available at: <https://www.autoblog.com/2013/10/02/tesla-model-s-fire/>
- A New Energy Bus Crashed into a Guardrail and Caught Fire in Wanning, Fortunately Causing No Casualties (2020). Available at: http://hainan.sina.com.cn/news/hnyw/20201126/detail-iznctke3332328.shtml?from=hainan_ydph
- Schmidt, A., Oehler, D., Weber, A., Wetzel, T., Ivers-Tiffée, E. (2021). A multi scale multi domain model for large format lithium-ion batteries. *Electrochimica Acta*, 393, 139046. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.139046>
- Chen, M., Sun, Q., Li, Y., Wu, K., Liu, B., Peng, P., Wang, Q. (2015). A Thermal Runaway Simulation on a Lithium Titanate Battery and the Battery Module. *Energies*, 8 (1), 490–500. doi: <https://doi.org/10.3390/en8010490>
- Wu, W., Xiao, X., Huang, X. (2012). The effect of battery design parameters on heat generation and utilization in a Li-ion cell. *Electrochimica Acta*, 83, 227–240. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.07.081>
- Abada, S., Marlair, G., Lecocq, A., Petit, M., Sauvart-Moynot, V., Huet, F. (2016). Safety focused modeling of lithium-ion batteries: A review. *Journal of Power Sources*, 306, 178–192. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.11.100>
- Anderson, J., Larsson, F., Andersson, P., Mellander, B.-E. (2015). Thermal modeling of fire propagation in lithium-ion batteries. In *Proceedings of The 24th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*. Gothenburg. Available at: <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/proceedings/24/files/24ESV-000073.PDF>
- International Energy Agency. *Global EV Outlook. Securing Supplies for an Electric Future*. IIS 2380-S43. Available at: <https://statistical.proquest.com/statisticalinsight/result/pqresultpage.preview?docType=PQSI&titleUri=/content/2022/2380-S43.xml>
- Electric Vehicle Outlook. BloombergNEF. Available at: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Tokarska, K. B., Gillett, N. P. (2018). Cumulative carbon emissions budgets consistent with 1.5°C global warming. *Nature Climate Change*, 8 (4), 296–299. doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0118-9>
- Woodward, M., Walton, B., Hamilton, J. et al. (2020). *Electric vehicles - setting a course for 2030*. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html>
- Electric Surge: Carmakers' Electric Car Plans across Europe 2019-2025. Available at: <https://www.transportenvironment.org/discover/electric-surge-carmakers-electric-car-plans-across-europe-2019-2025/>
- Gudym, V., Mykhalichko, B., Nazarovets, O., Gavryliuk, A. (2022). The effect of short circuits and flame temperature modes on the change in the microstructure of copper in automotive wiring. *Engineering Failure Analysis*, 136, 106198. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106198>
- Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., Huang, X. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*, 56 (4), 1361–1410. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>
- Cui, Y., Liu, J., Cong, B., Han, X., Yin, S. (2022). Characterization and assessment of fire evolution process of electric vehicles placed in parallel. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 524–534. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.08.055>
- Zhang, D., Huang, G., Li, H., Deng, Q., Gao, X. (2023). A Study of the Factors Influencing the Thermal Radiation Received by Pedestrians from the Electric Vehicle Fire in Roadside Parking Based on PHRR. *Applied Sciences*, 13 (1), 609. doi: <https://doi.org/10.3390/app13010609>
- Sturm, P., Föbleitner, P., Fruhwirt, D., Galler, R., Wenighofer, R., Heindl, S. F. et al. (2022). Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels. *Fire Safety Journal*, 134, 103695. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103695>
- Brzezinska, D., Bryant, P. (2022). Performance-Based Analysis in Evaluation of Safety in Car Parks under Electric Vehicle Fire Conditions. *Energies*, 15 (2), 649. doi: <https://doi.org/10.3390/en15020649>
- Yan, X., Charlier, M., Gernay, T. (2022). Thermal response of steel framing members in open car park fires. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 16 (9), 1071–1088. doi: <https://doi.org/10.1007/s11709-022-0879-0>
- Deckers, X., Haga, S., Tilley, N., Merci, B. (2013). Smoke control in case of fire in a large car park: CFD simulations of full-scale configurations. *Fire Safety Journal*, 57, 22–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.02.005>
- Li, L., Liu, B., Zheng, W., Wu, X., Song, L., Dong, W. (2022). Investigation and numerical reconstruction of a full-scale electric bicycle fire experiment in high-rise residential building. *Case Studies in Thermal Engineering*, 37, 102304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102304>
- Yao, H.-W., Lv, K.-F., Li, Y.-X., Zhang, J.-G., Lv, Z.-B., Wang, D. et al. (2022). Numerical Simulation of Fire in Underground Commercial Street. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2022/4699471>
- Krol, M., Krol, A. (2021). The Threats Related to Parking Electric Vehicle in Underground Car Parks. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 72–81. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-91156-0_6
- Tesla says Model S fire in France was due to 'electrical connection improperly tightened' by a human instead of robots (2016). Available at: <https://electrek.co/2016/09/09/tesla-fire-france-electrical-connection-improperly-tightened-human-robot/>

31. Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles. RISE Rapport 2020:90. Available at: <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1522149/FULLTEXT01.pdf>
32. McGrattan, K. et al. (2009). Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model. NIST Special Publication 1018-5, 94.
33. Forney, G. P. (2008). Smokeview (Version 5): A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data Volume 1: User's Guide. P. Forney. NIST Special Publication 1017-1, 142.
34. McGrattan, K. et al. (2008). Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide. NIST Special Publication 1019-5, 176
35. Mallick, P. K. (2021). Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures. *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*, 187–228. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818712-8.00005-7>
36. Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 10, 246–267. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.05.013>
37. Mao, B., Liu, C., Yang, K., Li, S., Liu, P., Zhang, M. et al. (2021). Thermal runaway and fire behaviors of a 300 Ah lithium ion battery with LiFePO₄ as cathode. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110717. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110717>
38. Wang, C., Zhu, Y., Gao, F., Qi, C., Zhao, P., Meng, Q. et al. (2020). Thermal runaway behavior and features of LiFePO₄/graphite aged batteries under overcharge. *International Journal of Energy Research*, 44 (7), 5477–5487. doi: <https://doi.org/10.1002/er.5298>
39. Gavryliuk, A. F., Kushnir, A. P. (2022). Analysis of fire danger of electric vehicles according to thermal stability of powerful lithium battery. *Fire Safety*, 40, 31–39. doi: <https://doi.org/10.32447/20786662.40.2022.04>
40. Kang, S., Kwon, M., Yoon Choi, J., Choi, S. (2023). Full-scale fire testing of battery electric vehicles. *Applied Energy*, 332, 120497. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120497>
41. Safety Standard for Electric and Hybrid Vehicle Propulsion Battery Systems Utilizing Lithium-based Rechargeable Cells. doi: https://doi.org/10.4271/j2929_201302

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276099

DETERMINING THE POSSIBILITY OF THE APPEARANCE OF A COMBUSTIBLE MEDIUM IN THE HYDROGEN STORAGE AND SUPPLY SYSTEM (p. 47–54)

Yuriy Abramov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7901-3768>

Oleksii Basmanov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-6575>

Valentina Krivtsova

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8254-5594>

Andriy Mikhayluk

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4116-164X>

Ihor Khmyrov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-463X>

The object of this study is the process of functioning of the hydrogen storage and supply system. The issue of fire-explosive

events in the hydrogen storage and supply system is investigated. A set of mathematical models has been built to determine the probability of a combustible medium in the hydrogen storage and supply system. This set includes partial mathematical models for the main elements of the system, which are united by a generalized mathematical model. When constructing partial mathematical models, the probabilities of trouble-free operation of the main elements of the system are used, which include a pipeline and a gas generator with a pressure stabilization circuit. The probability of trouble-free operation is represented in the form of two multiplicative components that take into account catastrophic and parametric failures of the main elements of the system. When determining the probability of trouble-free operation of the main elements of the system in relation to parametric failures, the integral (generalized) parameters were used. In particular, for a gas generator, such parameters are its time constants. The current values of time constants of the gas generator are determined according to the developed algorithm whose feature is the use for its implementation of the values of the amplitude-frequency characteristics of the system, which are determined at three a priori given frequencies. For a typical version of the on-board hydrogen storage and supply system, quantitative indicators of the likelihood of a combustible medium are given. It is shown that if the parametric failures of the main elements of the system are not taken into account, an error occurs, the value of which is 30.0 %.

The results could be used to obtain an express assessment of the level of fire hazard of hydrogen storage and supply systems at different stages of their life cycle.

Keywords: hydrogen storage and supply system, combustible environment, catastrophic failures, parametric failures.

References

1. Moradi, R., Groth, K. M. (2019). Hydrogen storage and delivery: Review of the state of the art technologies and risk and reliability analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (23), 12254–12269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.041>
2. Shen, C., Ma, L., Huang, G., Wu, Y., Zheng, J., Liu, Y., Hu, J. (2018). Consequence assessment of high-pressure hydrogen storage tank rupture during fire test. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 55, 223–231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.06.016>
3. Abe, J. O., Popoola, A. P. I., Ajenifuja, E., Popoola, O. M. (2019). Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (29), 15072–15086. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>
4. Liu, Y., Liu, Zh., Wei, J., Lan, Y., Yang, S., Jin, T. (2021). Evaluation and prediction of the safe distance in liquid hydrogen spill accident. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.037>
5. Hansen, O. R. (2020). Hydrogen infrastructure – Efficient risk assessment and design optimization approach to ensure safe and practical solutions. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 164–176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.028>
6. Abohamzeh, E., Salehi, F., Sheikholeslami, M., Abbassi, R., Khan, F. (2021). Review of hydrogen safety during storage, transmission, and applications processes. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 72, 104569. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104569>
7. Zarei, E., Khan, F., Yazdi, M. (2021). A dynamic risk model to analyze hydrogen infrastructure. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 4626–4643. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.191>
8. Shao, X., Pu, L., Li, Q., Li, Y. (2018). Numerical investigation of flammable cloud on liquid hydrogen spill under various weather conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (10), 5249–5260. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.139>

9. Lam, C.Y., Fuse, M., Shimizu, T. (2019). Assessment of risk factors and effects in hydrogen logistics incidents from a network modeling perspective. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (36), 20572–20586. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.187>
10. Le, S. T., Nguyen, T. N., Linforth, S., Ngo, T. D. (2022). Safety investigation of hydrogen energy storage systems using quantitative risk assessment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48 (7), 2861–2875. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.082>
11. Hassan, I. A., Ramadan, H. S., Saleh, M. A., Hissel, D. (2021). Hydrogen storage technologies for stationary and mobile applications: Review, analysis and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111311>
12. Dadashzadeh, M., Kashkarov, S., Makarov, D., Molkov, V. (2018). Risk assessment methodology for onboard hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (12), 6462–6475. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.195>
13. Zhang, Y., Cao, W., Shu, C.-M., Zhao, M., Yu, C., Xie, Z. et al. (2020). Dynamic hazard evaluation of explosion severity for premixed hydrogen-air mixtures in a spherical pressure vessel. *Fuel*, 261, 116433. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116433>
14. Li, B., Han, B., Li, Q., Gao, W., Guo, C., Lv, H. et al. (2022). Study on hazards from high-pressure on-board type III hydrogen tank in fire scenario: Consequences and response behaviours. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (4), 2759–2770. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.205>
15. Zhang, L., Qu, X., Lu, S., Liu, X., Ma, C., Jiang, X., Wang, X. (2022). Damage monitoring and locating of COPV under low velocity impact using MXene sensor array. *Composites Communications*, 34, 101241. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coco.2022.101241>
16. Correa-Jullian, C., Groth, K. M. (2022). Data requirements for improving the Quantitative Risk Assessment of liquid hydrogen storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (6), 4222–4235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.10.266>
17. Correa-Jullian, C., Groth, K. M. (2022). Opportunities and data requirements for data-driven prognostics and health management in liquid hydrogen storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (43), 18748–18762. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.04.048>
18. Mikhayluk, A., Abramov, Yu., Krivtsova, V. (2020). Mathematical model of the fire hazard level of hydrogen storage and supply systems. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 48, 119–123. Available at: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb48/16.pdf>
19. Abramov, Y., Basmanov, O., Krivtsova, V., Mikhayluk, A., Mikhayluk, O. (2022). Developing an algorithm for monitoring gas generators of hydrogen storage and supply systems. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 45–54. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002262>
20. Abramov, Yu. O., Kryvtsova, V. I. (2018). Pat. No. 125947 UA. Spisib vyznachennia dynamichnykh kharakterystyk hazoheneratoriv systemy zberihannia ta podachi vodniu. No. u201800547; declared: 19.01.2018; published: 25.05.2018, Bul. No. 10. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=247773>
21. Abramov, Y., Basmanov, O., Krivtsova, V., Mikhayluk, A., Mikhayluk, O. (2019). Determining the source data to form a control algorithm for hydrogen generators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (101)), 58–64. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.181417>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277491

ОТРИМАННЯ ФІЗІОЛОГІЧНО ПОВНОЦІННОЇ ПИТНОЇ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНИХ ЗВОРотноОСМОТИЧНИХ МЕМБРАННИХ ЕЛЕМЕНТІВ (с. 6–13)

А. В. Тивоненко, Т. Є. Мітченко, О. В. Гоманюк, С. Л. Василюк, І. В. Косогіна, Р. Я. Мудрик

Питна вода, підготовлена з використанням найбільш ефективного та популярного зворотньоосмотичного методу, є абсолютно безпечною, проте здебільшого не задовольняє вимогам, що висуваються до фізіологічно повноцінної води. Остання повинна відповідати окрім основних також наступним вимогам: солевміст не менше 100 та не більше 1000 мг/дм³, а загальна жорсткість в діапазоні 1–7,0 ммоль/дм³. Зараз для досягнення їх виконання на наступній після знесолення стадії використовуються різні методи домінералізації зворотньоосмотичної води, кожен з яких має певні недоліки.

В роботі вирішувалась проблема одержання безпосередньо після стадії мембранного знесолення безпечної фізіологічно повноцінної води з використанням модифікованих зворотньоосмотичних мембранних елементів з заданою селективністю. Об'єктом дослідження виступав процес одержання зворотньоосмотичних мембранних елементів із заданою селективністю шляхом їх модифікації розчином гіпохлориту натрію для використання в процесі отримання фізіологічно повноцінної питної води.

Розраховано необхідний рівень селективності модифікованих елементів для одержання безпечної фізіологічно повноцінної води з вихідної в залежності від її солевмісту. Так, для вихідної води з солевмістом 200–300 мг/дм³ задана селективність мембранного елементу має складати не більше 60 % при температурі 25 °С. Встановлені раціональні умови ведення процесу модифікації для одержання мембранного елементу з саме такою селективністю. Вивчено характер впливу зміни температури води на селективність модифікованого елементу.

Дослідний зразок модифікованого елементу було випробувано у вендинговому автоматі з розливу води, в якому проводилось очищення водопровідної води м. Києва з солевмістом 230 мг/дм³ при температурі 8–12 °С. Результати випробувань показали можливість одностадійного отримання безпечної фізіологічно повноцінної води методом зворотного осмосу з використанням модифікованого мембранного елементу з заданою селективністю 50 %.

Ключові слова: зворотний осмос, модифіковані мембранні елементи, задана селективність, фізіологічно повноцінна вода.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276779

ПОРІВНЯННЯ БІКОГЕРЕНТНОСТІ ПО АНСАМБЛЮ РЕАЛІЗАЦІЙ І ВИБІРКОВОЇ ОЦІНКИ БІСПЕКТРУ ДИНАМІКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОВОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ЗАГОРЯННЯХ (с. 14–21)Б. Б. Поспелов, Є. О. Рибка, Д. Ю. Полковниченко, І. Я. Мисковець, Ю. С. Безугла, Т. Ю. Бутенко, С. В. Гарбуз,
Л. А. Прохорова, О. М. Левада, М. М. Кравцов

Об'єктом дослідження є бікогерентність оцінки біспектра динаміки небезпечних параметрів газового середовища під час загоряння матеріалів. Предметом є міра бікогерентності оцінки біспектра з ансамблем реалізацій та вибіркової оцінки біспектра для динаміки небезпечних параметрів газового середовища. Практична важливість досліджень полягає в використанні міри бікогерентності біспектра для раннього виявлення загорянь. Обґрунтовано міру бікогерентності динаміки небезпечних параметрів газового середовища, що дозволяють чисельно їх порівнювати для досліджуваних оцінок біспектра. У якості такої міри пропонується використовувати інтегральне значення бікогерентності для заданого частотного інтервалу, яка дозволяє чисельно порівнювати бікогерентність оцінок біспектра для довільних часових інтервалів динаміки небезпечних параметрів газового середовища. На основі запропонованої міри для частотного діапазону 0,2–2 Гц виконано порівняння інтегральної бікогерентності оцінок біспектра. Чисельне значення міри визначалося для трьох фіксованих часових інтервалів динаміки небезпечних параметрів середовища, що відповідають відсутності загоряння, виникненню загоряння та подальшого горіння тестових матеріалів у лабораторній камері. За результатами порівняння таких значень встановлено, що найбільш доречною для виявлення загорянь виявляється бікогерентність оцінки біспектра з ансамблем реалізацій. При загорянні чисельне значення міри для всіх тестових матеріалів становить близько 90°. Це означає, що характер динаміки небезпечних параметрів середовища у разі виникнення загорянь набуває випадкового характеру. У зв'язку з цим запропоновану міру рекомендовано використовувати як тестову для раннього виявлення загорянь.

Ключові слова: раннє виявлення загорянь, оцінка біспектра, бікогерентність, небезпечні параметри, газове середовище.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.275550

ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШАРУ ПІНОКОКСУ ПРИ ВОГНЕЗАХИСТІ КАБЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ СПУЧУЮЧИМ ПОКРИТТЯМ (с. 22–30)

Ю. В. Цапко, Р. В. Ліхнівський, О. Ю. Цапко, В. В. Коваленко, О. М. Слущка, П. О. Ілпаченко, Р. І. Кравченко, М. В. Суханевич

Проблема застосування кабельної продукції для будівельних конструкцій полягає в забезпеченні їх стійкості і довговічності при експлуатації в широких межах. Тому об'єктом досліджень була зміна властивостей полімерної оболонки кабелю при утворенні спученого шару покриття під впливом високої температури. Доведено, що в процесі термічної дії на вогнезахисне покрит-

тя процес теплоізолювання кабелю полягає в утворенні сажоподібних продуктів на поверхні зразка. Так саме під дією полум'я палика на поверхні зразка була створена температура, що призвела до спучення покриття понад 16 мм. Виміряна температура на оберненій поверхні зразка склала не більше 160 °С, що свідчить про утворення заслону для температури. У зв'язку з цим розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення теплопровідності при застосуванні вогнезахисного засобу в якості покриття, що дозволяє оцінити коефіцієнти температуропровідності та теплопровідності при високотемпературній дії. За експериментальними даними і отриманими залежностями розраховано коефіцієнт температуропровідності та теплопровідності деревини, який становить $214,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ та $0,62 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ відповідно за рахунок утворення теплоізолювального спученого шару. Проведено оцінку максимально можливого проникнення температури через товщу покриття. На поверхні зразка створено температуру, що значно перевищує температуру займання полімерної оболонки кабелю, а на необігрітій поверхні не перевищує 160 °С. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів вогнезахисту електричного кабелю шляхом застосування покриттів, здатних утворювати на поверхні матеріалу захисний шар, який гальмує швидкість передавання тепла.

Ключові слова: вогнезахисні засоби для кабельної продукції, електричний кабель, горіння полімерної оболонки кабелю, оброблення поверхні кабелю, спучення покриття.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276653

РІВЕНЬ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРИТОРІЇ (с. 31–38)

М. В. Кустов, О. І. Федоряка, В. Г. Кононович, Б. Д. Халмурадов, П. Ю. Бородич, Т. Л. Куртсеітов, А. А. Нікітін, В. П. Романюк, І. С. Мещеряков, Ю. А. Веретеннікова

Об'єктом дослідження є пожежний ризик локальної території. Проблема, що вирішувалась, полягає врахуванні більшості значущих параметрів при територіальному розміщенні пожежно-рятувальних підрозділів різної функціональної спроможності. В рамках вирішення цієї проблеми розроблена методика оцінки пожежного ризику локальної території великого масштабу. Методика орієнтована на локальні території великої площі із низькою щільністю населення. Особливістю запропонованої методики є диференційована оцінка пожежного ризику кожної точки площини поверхні. Для такої оцінки проаналізовані та структуровані параметри, що є визначальними з точки зору впливу на пожежну небезпеку. До зазначених факторів відносяться просторовий розподіл щільності населення та забудови, транспортно-комунікаційна мережа, просторовий розподіл густини та виду рослинності та статистичні данні по ландшафтним пожежам. Передбачено використання існуючих геоінформаційних ресурсів в режимі реального часу. Запропоновано новий підхід ранжування пожежного ризику елементарної площини території у відповідності до необхідної кількості ресурсів рятувальних підрозділів для забезпечення належного рівня безпеки. Для співставлення параметрів локальної території з рангами пожежного ризику використано нейромережеві методи обробки даних. Отримано нейромережу, здатну співставляти пожежний ризик території до її параметрів. Проведено перевірку працездатності розробленої методики та проведено градування рівнів пожежного ризику довільної території із середнім ступенем кореляції 0,97. Запропонована методика дозволяє проводити оцінку та корегування стану забезпечення локальних територій ресурсами цивільного захисту. Особливу актуальність розроблена методика має при створенні нових пожежно-рятувальних підрозділів територіальних громад.

Ключові слова: пожежний ризик, локальна територія, пожежна станція, район обслуговування, нейромережа, щільність населення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277999

ВИЗНАЧЕННЯ БЕЗПЕЧНИХ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ВІДСТАНЕЙ ПІД ЧАС ПОЖЕЖИ TESLA MODEL S НА ЗАКРИТОМУ ПАРКІНГУ (с. 39–46)

А. Ф. Гаврилюк, Р. С. Яковчук, Д. О. Чалий, М. В. Лемішко, Н. Ю. Тур

У цьому дослідженні змодельовано пожежу електромобіля на прикладі Tesla Model S (США) на закритому паркінгу. Такі пожежі несуть підвищену небезпеку, через швидке поширення, наявність великої кількості транспортних засобів, виділення токсичних продуктів згорання та сильного задимлення. Власне швидке поширення пожежі на закритому паркінгу зумовлене необгрунтовано малими відстанями між транспортними засобами. Таким чином визначення мінімальних протипожежних відстаней внаслідок пожежі електромобіля на закритому паркінгу на прикладі Tesla Model S стало метою дослідження.

Для цього проведений опис об'єктів та їх фізичних характеристик, задані вхідні параметри та параметри навколишнього середовища, а також сформована математична модель динаміки розвитку пожежі. Це дало змогу встановити мінімальну протипожежну відстань впродовж часу вільного розвитку 610 с, для пожежі електромобіля на закритому паркінгу, яка становить по флангу 10 м, а по фронту 6 м. Різниця протипожежних відстаней по флангу та фронту пояснюється конструктивними особливостями електромобіля. Тобто зі сторони флангу площа полум'я буде більшою, ніж зі сторони фронту електромобіля, що горить, а значить і потужність теплового випромінювання також. Власне потужність теплового випромінювання є ключовим фактором, що впливає на протипожежні відстані.

Результати дослідження можуть бути використані при проектуванні різного роду автопаркінгів, та безпечного розміщення у ньому транспортних засобів. Протипожежні відстані між автомобілями на закритих паркінгах можуть враховуватись страховими компаніями при оцінці ризиків пошкодження автомобілів внаслідок пожеж. А також пожежно-рятувальними підрозділами, які залучаються для гасіння таких пожеж, для врахування, при забезпеченні безпеки рятувальників.

Ключові слова: протипожежна відстань на автопаркінгу, FDS моделювання пожежі Tesla Model S, пожежа електромобіля.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276099

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПОЯВИ ГОРЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА В СИСТЕМІ ЗБЕРІГАННЯ ТА ПОДАЧІ ВОДНЮ (с. 47–54)

Ю. О. Абрамов, О. Є. Басманов, В. І. Кривцова, А. О. Михайлюк, І. М. Хмиров

Об'єктом дослідження є процес функціонування системи зберігання та подачі водню. Досліджується проблема виникнення пожежовибухонебезпечних ситуацій в системі зберігання та подачі водню. Побудований комплекс математичних моделей для визначення ймовірності появи горючого середовища в системі зберігання та подачі водню. Цей комплекс включає часткові математичні моделі для основних елементів системи, які об'єднані узагальненою математичною моделлю. При побудові часткових математичних моделей використані ймовірності безвідмовної роботи основних елементів системи, до яких віднесені трубопровід та газогенератор із контуром стабілізації тиску. Ймовірність безвідмовної роботи представлена у вигляді двох мультиплікативних складових, які враховують катастрофічні та параметричні відмови основних елементів системи. При визначенні ймовірності безвідмовної роботи основних елементів системи стосовно параметричних відмов використанні інтегральні (узагальнені) параметри. Зокрема, для газогенератора такими параметрами є його постійні часу. Визначення поточних значень постійних часу газогенератора здійснюється згідно із розробленим алгоритмом, особливістю цього алгоритму є використання для його реалізації значень амплітудно-частотної характеристики системи, які визначаються на трьох апіорі заданих частотах. Для типового варіанта бортової системи зберігання та подачі водню наведені кількісні показники ймовірності появи горючого середовища. Показано, що при неврахуванні параметричних відмов основних елементів системи виникає похибка, величина якої складає 30,0 %.

Отримані результати можуть бути використані для одержання експрес-оцінки рівня пожежонебезпеки систем зберігання та подачі водню для різних етапів їх життєвого циклу.

Ключові слова: система зберігання та подачі водню, горюче середовище, катастрофічні відмови, параметричні відмови.