

## ABSTRACT AND REFERENCES

## ECOLOGY

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266012

**THE MECHANISM OF pH RECALIBRATION BY DISSOLVED OXYGEN IN ALKALINE MODIFIED AQUACULTURE SEAWATER (p. 6–13)****Wresti L. Anggayasti**Brawijaya University, Malang, East Java, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7869-0924>**Willy Satrio N.**Brawijaya University, Malang, East Java, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8288-6287>**I Nyoman Gede Wardana**Brawijaya University, Malang, East Java, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3146-9517>**Andi Kurniawan**Brawijaya University, Malang, East Java, Indonesia  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6301-0861>

The balance of dissolved oxygen and pH levels is paramount in aquaculture, as a media for cultivating aquatic organisms under controlled conditions. An imbalance in both oxygen and pH could severely harm the cultured aquatic organisms. Various strategies are used to prevent hypoxia and maintain the pH level of the culture. Interestingly, hypoxia or deprivation of oxygen supply in aquaculture was often reported to co-occur with the seawater acidification. Despite that, there was no evidence that the O<sub>2</sub> level was directly linked to pH changes. Thus, the existing treatment strategies are separated between O<sub>2</sub> and pH maintenances, which often inflate cost and cause environmental burden due to the use of synthetic chemicals. This study was conducted to observe the mechanism and effect of the O<sub>2</sub> addition to aquaculture seawater in molecular level when the pH value of the water was modified. The understanding of the mechanism may lead to an alternative to the harmful aquaculture treatments. The molecular mechanics analysis was applied to examine the mechanism of pH adjustment in non-aerated and aerated seawater. The results indicated that O<sub>2</sub> accelerated the pH recalibration of seawater, particularly in the alkaline modified samples compared to the acid modified samples. Mechanical simulations further showed the repulsion between CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> and O<sub>2</sub> causes vibration which shortens OH bond by 17.71 % while elongates O-O bond by 1.00 %. Additionally, the spin coupling between OH and O<sub>2</sub> promotes global energy transfer which stimulates the vibration of the alkaline modified water system. Together, those mechanisms enabled the pH value to return to the baseline. These findings contribute a molecular mechanism view of aquaculture pH maintenance in the presence of O<sub>2</sub>, as well as revisiting the use of aeration in aquaculture treatment.

**Keywords:** aeration treatment, molecular mechanism, dissolved oxygen, pH recalibration, aquaculture seawater.

**References**

- Henriksson, P. J. G., Tran, N., Mohan, C. V., Chan, C. Y., Rodriguez, U.-P., Suri, S. et al. (2017). Indonesian aquaculture futures – Evaluating environmental and socioeconomic potentials and limitations. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1482–1490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.133>
- Rimmer, M. A., Larson, S., Lapong, I., Purnomo, A. H., Pong-Masak, P. R., Swanepoel, L., Paul, N. A. (2021). Seaweed Aquaculture in Indonesia Contributes to Social and Economic Aspects of Livelihoods and Community Wellbeing. *Sustainability*, 13 (19), 10946. doi: <https://doi.org/10.3390/su131910946>
- Zhang, P., Zhang, X., Li, J., Huang, G. (2006). The effects of body weight, temperature, salinity, pH, light intensity and feeding condition on lethal DO levels of whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). *Aquaculture*, 256 (1-4), 579–587. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.020>
- Thulasi, D., Muralidhar, M., Saraswathy, R. (2020). Effect of sulphide in Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* under varying oxygen and pH levels. *Aquaculture Research*, 51 (6), 2389–2399. doi: <https://doi.org/10.1111/are.14582>
- Chan, F., Barth, J., Kroeker, K., Lubchenco, J., Menge, B. (2019). The Dynamics and Impact of Ocean Acidification and Hypoxia: Insights from Sustained Investigations in the Northern California Current Large Marine Ecosystem. *Oceanography*, 32 (3), 62–71. doi: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2019.312>
- Zeebe, R. E. (2012). History of Seawater Carbonate Chemistry, Atmospheric CO<sub>2</sub>, and Ocean Acidification. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 40 (1), 141–165. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-042711-105521>
- Anggayasti, W. L., Mancera, R. L., Bottomley, S., Helmerhorst, E. (2017). The self-association of HMGB1 and its possible role in the binding to DNA and cell membrane receptors. *FEBS Letters*, 591 (2), 282–294. doi: <https://doi.org/10.1002/1873-3468.12545>
- Ulaje, S. A., Lluch-Cota, S. E., Sicard, M. T., Ascencio, F., Cruz-Hernández, P., Racotta, I. S., Rojo-Arreola, L. (2020). *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption and HSP gene expression at cyclic conditions of hyperthermia and hypoxia. *Journal of Thermal Biology*, 92, 102666. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102666>
- Sultana, T., Haque, M., Salam, M., Alam, M. (2017). Effect of aeration on growth and production of fish in intensive aquaculture system in earthen ponds. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 15 (1), 113–122. doi: <https://doi.org/10.3329/jbau.v15i1.33536>
- Tanveer, M., Roy, S. M., Vikneswaran, M., Renganathan, P., Balasubramanian, P. (2018). Surface aeration systems for application in aquaculture: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6 (5), 342–347. Available at: <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2018/vol6issue5/PartE/6-5-23-591.pdf>
- Wang, X., Shang, Y., Kong, H., Hu, M., Yang, J., Deng, Y., Wang, Y. (2020). Combined effects of ocean acidification and hypoxia on the early development of the thick shell mussel *Mytilus coruscus*. *Helgoland Marine Research*, 74 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s10152-020-0535-9>
- Sylvain, F.-É., Cheaib, B., Llewellyn, M., Gabriel Correia, T., Barros Fagundes, D. et al. (2016). pH drop impacts differentially skin and gut microbiota of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*). *Scientific Reports*, 6 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep32032>
- George, M. N., Andino, J., Huie, J., Carrington, E. (2019). Microscale pH and Dissolved Oxygen Fluctuations within Mussel Aggregations and Their Implications for Mussel Attachment and Raft Aquaculture. *Journal of Shellfish Research*, 38 (3), 795. doi: <https://doi.org/10.2983/035.038.0329>
- Carstensen, J., Duarte, C. M. (2019). Drivers of pH Variability in Coastal Ecosystems. *Environmental Science & Technology*, 53 (8), 4020–4029. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03655>
- Hlordzi, V., Kuebutornye, F. K. A., Afriyie, G., Abarike, E. D., Lu, Y., Chi, S., Anokyewaa, M. A. (2020). The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*, 18, 100503. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>

16. Irawan, Y., Fonda, H., Sabna, E., Febriani, A. (2021). Intelligent Quality Control of Shrimp Aquaculture Based On Real-Time System and IoT Using Mobile Device. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 69 (4), 49–56. doi: <https://doi.org/10.14445/22315381/ijett-v69i4p208>
17. Diez, A. (2021). SiSyPHE: A Python package for the Simulation of Systems of interacting mean-field Particles with High Efficiency. *Journal of Open Source Software*, 6 (65), 3653. doi: <https://doi.org/10.21105/joss.03653>
18. D'Orsogna, M. R., Chuang, Y. L., Bertozzi, A. L., Chayes, L. S. (2006). Self-Propelled Particles with Soft-Core Interactions: Patterns, Stability, and Collapse. *Physical Review Letters*, 96 (10). doi: <https://doi.org/10.1103/physrevlett.96.104302>
19. Ahmed, A. A. M. (2017). Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs). *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 29 (2), 151–158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2014.05.001>
20. Minaev, B. F. (2017). Spin-orbit coupling mechanism of singlet oxygen a1Δg quenching by solvent vibrations. *Chemical Physics*, 483-484, 84–95. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemphys.2016.11.012>
21. Hosoya, A., Maruyama, K., Shikano, Y. (2015). Operational derivation of Boltzmann distribution with Maxwell's demon model. *Scientific Reports*, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep17011>
22. Hua, Z., Tian, C., Qiu, Z., Li, Y., Tian, X., Wang, M., Li, E. (2018). An investigation on NO<sub>2</sub> sensing mechanism and shielding behavior of WO<sub>3</sub> nanosheets. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 259, 250–257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.12.016>
23. Golse, F. (2016). On the Dynamics of Large Particle Systems in the Mean Field Limit. *Lecture Notes in Applied Mathematics and Mechanics*, 1–144. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26883-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26883-5_1)
24. Miles, C. E., Zhu, J., Mogilner, A. (2022). Mechanical Torque Promotes Bipolarity of the Mitotic Spindle Through Multi-centrosomal Clustering. *Bulletin of Mathematical Biology*, 84 (2). doi: <https://doi.org/10.1007/s11538-021-00985-2>
25. Grozdanov, S., Schalm, K., Scopelliti, V. (2019). Kinetic theory for classical and quantum many-body chaos. *Physical Review E*, 99 (1). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.99.012206>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266015

#### DETERMINING THE INFLUENCE OF WASTEWATER HYDRODYNAMICS IN BIOREACTORS ON THE PROCESS OF MASS TRANSFER (p. 14–22)

Olya Vorobyova

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-5904>

The anaerobic method of treating wastewater from biotechnological and economic industries has great prospects for the development of a renewable energy source. Biogas released during the operation of the bioreactor can be used as an energy source for the generation of electricity and heat.

This paper reports the design of an apparatus for wastewater treatment with microorganisms immobilized on inert carriers. The original substrate supplied to the bioreactor is heated by thermostating. The temperature of the original substrate is controlled using an electronic temperature meter. Temperature in the bioreactor is also controlled; maintaining the methane growth of microorganisms in the range of 35–37 °C is enabled by a temperature sensor. The gas that is released during the experiment is collected in a gas collector, where its volume is measured, owing to the torn cylinder connected to the gas collector. Additionally, a temperature sensor is installed in the gas collector to determine the mass of the biogas collected in the experiments. Owing to

the high-speed camera connected to a computer, the process of formation and separation of gas bubbles from the biofilm is recorded, as well as the thickness of the biofilm on flat carriers. To determine the effect of hydrodynamics under a laminar mode of wastewater supply, in the bioreactor channels, a peristaltic dosing pump is used in the experimental installation. In the experiments, the thickness of the biofilm changed in the range from 10<sup>-3</sup> m to 4.8·10<sup>-3</sup> m and, because of this, the width of the channel along which the substrate flow moved changed accordingly.

Experimentally, it was established that the volume of biogas released increases with an increase in the rate of wastewater in the bioreactor channels. Based on the experimental results, a criterion equation was built using which can determine the coefficient of mass yield.

**Keywords:** biogas production, influence of hydrodynamics on mass transfer, wastewater, flat carriers.

#### References

1. Zaher, U., Cheong, D.-Y., Wu, B., Chen, S. (2007). Producing energy and fertilizer from organic municipal solid waste. Washington State University.
2. Osman, M. (2014). Waste Water Treatment in Chemical Industries: The Concept and Current Technologies. *Journal of Waste Water Treatment & Analysis*, 05 (01). doi: <https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000164>
3. Shair, J., Li, H., Hu, J., Xie, X. (2021). Power system stability issues, classifications and research prospects in the context of high-penetration of renewables and power electronics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111111. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111111>
4. Mel'nick, V., Rhuzinska, L., Vorobiova, O. (2019). Analysis of existing bioreactors with immobilized microorganisms. *Municipal Economy of Cities*, 3 (149), 51–57. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2019-3-149-51-57>
5. Tchobanoglous, G., Burton, F., Tsuchihashi, R., Stensel, H. (2013). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery: Treatment and Reuse*. McGraw Hill, 2048.
6. Hoffstadt, K., Pohen, G. D., Dicke, M. D., Paulsen, S., Krafft, S., Zang, J. W. et al. (2020). Challenges and Prospects of Biogas from Energy Cane as Supplement to Bioethanol Production. *Agronomy*, 10 (6), 821. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060821>
7. Poeschl, M., Ward, S., Owende, P. (2010). Prospects for expanded utilization of biogas in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (7), 1782–1797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.010>
8. Appels, L., Baeyens, J., Degève, J., Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (6), 755–781. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002>
9. Manyi-Loh, C., Mamphweli, S., Meyer, E., Okoh, A., Makaka, G., Simon, M. (2014). Inactivation of Selected Bacterial Pathogens in Dairy Cattle Manure by Mesophilic Anaerobic Digestion (Balloon Type Digester). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11 (7), 7184–7194. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph110707184>
10. Wu, N., Moreira, C. M., Zhang, Y., Doan, N., Yang, S., Phlips, E. J., Svoronos, S. A., Pullammanappallil, P. C. (2019). Techno-Economic Analysis of Biogas Production from Microalgae through Anaerobic Digestion. *Anaerobic Digestion*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.86090>
11. Shafarenko, M., Vorobyova, O. (2021). Research of methane production process from biogas and pyrolysis gas. *Series: Engineering Science and Architecture*, 1 (161), 280–283. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-1-161-280-283>
12. Salomoni, C., Petazzoni, E. (2006). Pat. No. WO2006108532A1. CO<sub>2</sub> capture and use in organic matter digestion for methane

- production. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2006108532A1/zh>
13. Wellinger, A., Murphy, J., Baxter, D. (2013). The biogas handbook. Science, Production and Applications. Woodhead Publishing. doi: <https://doi.org/10.1533/9780857097415>
  14. Moletta, R. (1986). Dynamic modelling of anaerobic digestion. *Water Research*, 20 (4), 427–434. doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(86\)90189-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(86)90189-2)
  15. Kiely, G., Tayfur, G., Dolan, C., Tanji, K. (1997). Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic wastes. *Water Research*, 31 (3), 534–540. doi: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(96\)00175-3](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(96)00175-3)
  16. Ramaraj, R., Dussadee, N. (2015). Biological Purification Processes for Biogas Using Algae Cultures: A Review. *International Journal of Sustainable and Green Energy*, 4 (1-1), 20–32. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijrse.s.2015040101.14>
  17. Bolle, W. L., van Breugel, J., van Eybergen, G. C., Kossen, N. W. F., van Gils, W. (1986). Kinetics of anaerobic purification of industrial wastewater. *Biotechnology and Bioengineering*, 28 (4), 542–548. doi: <https://doi.org/10.1002/bit.260280410>
  18. Pörtner, R., Faschian, R. (2019). Design and Operation of Fixed-Bed Bioreactors for Immobilized Bacterial Culture. *Growing and Handling of Bacterial Cultures*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.87944>
  19. Fang, H. H. P. (2010). *Environmental Anaerobic Technology: Applications and New Developments*. World Scientific Publishing, 420. doi: <https://doi.org/10.1142/p706>
  20. Rao, L. N. (2013). Immobilized bioreactors for the treatment of industrial wastewater - a comparative study. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2 (10), 3021–3027. Available at: [https://www.academia.edu/5718366/Immobilized\\_Bioreactors\\_for\\_the\\_Treatment\\_Of\\_Industrial\\_Wastewater\\_A\\_Comparative\\_Study](https://www.academia.edu/5718366/Immobilized_Bioreactors_for_the_Treatment_Of_Industrial_Wastewater_A_Comparative_Study)
  21. Choong, Y. Y., Chou, K. W., Norli, I. (2018). Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (POME) anaerobic digestion: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2993–3006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.036>
  22. Stoodley, P., Jørgensen, E., Williams, P., Lappin-Scott, H. (1999). The role of hydrodynamics and AHL signalling molecules as determinants of the structure of *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Biofilms: the good, the bad, and the ugly*. BioLine Press, 323–330.
  23. Purevdorj, B., Costerton, J. W., Stoodley, P. (2002). Influence of Hydrodynamics and Cell Signaling on the Structure and Behavior of *Pseudomonas aeruginosa* Biofilms. *Applied and Environmental Microbiology*, 68 (9), 4457–4464. doi: <https://doi.org/10.1128/aem.68.9.4457-4464.2002>
  24. Gao, B., Zhu, X., Xu, C., Yue, Q., Li, W., Wei, J. (2008). Influence of extracellular polymeric substances on microbial activity and cell hydrophobicity in biofilms. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 83 (3), 227–232. doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.1792>
  25. Horn, H., Morgenroth, E. (2006). Transport of oxygen, sodium chloride, and sodium nitrate in biofilms. *Chemical Engineering Science*, 61 (5), 1347–1356. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2005.08.027>
  26. Langer, S., Schropp, D., Bengelsdorf, F. R., Othman, M., Kazda, M. (2014). Dynamics of biofilm formation during anaerobic digestion of organic waste. *Anaerobe*, 29, 44–51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.11.013>
  27. Saroha, A. K., Khera, R. (2006). Hydrodynamic study of fixed beds with cocurrent upflow and downflow. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 45 (6), 455–460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2005.11.005>
  28. Velázquez-Martí, B., W. Meneses-Quelal, O., Gaibor-Chavez, J., Niño-Ruiz, Z. (2019). Review of Mathematical Models for the Anaerobic Digestion Process. *Anaerobic Digestion*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.80815>
  29. Pirsaeheb, M., Mesdaghinia, A.-R., Shahtaheri, S. J., Zinatizadeh, A. A. (2009). Kinetic evaluation and process performance of a fixed film bioreactor removing phthalic acid and dimethyl phthalate. *Journal of Hazardous Materials*, 167 (1-3), 500–506. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.003>
  30. Nor Faekah, I., Fatimah, S., Mohamed, Z. S. (2020). Kinetic evaluation of a partially packed upflow anaerobic fixed film reactor treating low-strength synthetic rubber wastewater. *Heliyon*, 6 (3), e03594. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03594>
  31. Ahmadi, E., Yousefzadeh, S., Ansari, M., Ghaffari, H. R., Azari, A., Miri, M. et al. (2017). Performance, kinetic, and biodegradation pathway evaluation of anaerobic fixed film fixed bed reactor in removing phthalic acid esters from wastewater. *Scientific Reports*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep41020>
  32. Kasatkin, A. G. (1971). *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii*. Moscow: Khimiya, 784.
  33. Pavlov K. F., Romankov P. G., Noskov A. A. (1987). *Primery i zadachi po kursu protsessov i apparatov khimicheskoy tekhnologii*. Leningrad: Khimiya, 576. Available at: <https://www.ecomass.com.ua/wp-content/uploads/2021/01/Павлов-КФ-Романков-ПГ-Носков-АА-Примеры-и-задачи-по-курсу-ПАХТ-1987-.pdf>
  34. Kolchunov, V. I. (2004). *Teoretychna ta prykladna hidromekhanika*. Kyiv: NAU, 336.
  35. Mel'nick, V., Vorobyova, O., Ostapenko, N. (2021). Modernization of Anaerobic Bioreactor for Waste Water Purification Plant. *NTU “KhPI” Bulletin: Power and Heat Engineering Processes and Equipment*, 3, 55–65. doi: <https://doi.org/10.20998/2078-774x.2021.03.08>
  36. Wilkie, A. C. (2005). Pat. No. US7297274B2. Fixed-film anaerobic digestion of flushed waste. Available at: <https://patents.google.com/patent/US7297274B2/en>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265809

**CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL AND NUMERICAL STUDY OF INTERACTION BETWEEN MOISTURE-, HEAT-, AND MASS TRANSFER PROCESSES OF SALT SOLUTIONS IN AN UNSATURATED SOIL LAYER (p. 23–31)**

**Ihor Ilkiv**

Rivne State University of Humanities, Rivne, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6736-8964>

**Viktor Zhukovskyy**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7088-6930>

**Nataliia Zhukovska**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7839-0684>

**Andrii Safonyk**

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5020-9051>

Methods of mathematical modeling and computer simulation were used to investigate the influence of interrelated processes of transfer of saline solutions in the unsaturated soil layer. To this end, a mathematical model has been built for modeling the corresponding processes of the moisture-, heat-, and mass transfer of saline solutions in an unsaturated soil layer. An effective computa-

tional algorithm was developed to solve the corresponding nonlinear boundary problem numerically by the method of finite differences; it was implemented in the Asp.net programming environment in the C++ language. Based on the numerical experiments carried out, the distribution of moisture, concentration, and temperature fields in the aeration zone (incomplete saturation) was obtained. To study the influence of mass transfer of salts on moisture transfer, a numerical solution was found to the problem of moisture transfer, the problem of moisture transfer taking into consideration mass transfer and moisture transfer, taking into consideration mass transfer in the presence of osmosis. Analysis of the results showed that the distribution of the concentration of saline solutions over time is slower and more predictable. It was established that the distribution of moisture heads increases with depth and time when saline solutions fall on the surface of the soil massif. With the influence of salt concentration, the distribution of moisture increases with depth and time throughout the entire area of moisture transfer by 1–3%. The distribution of moisture heads taking into consideration the concentration of salts and osmosis is reduced by 3–5% compared to the results of the problem without taking into consideration the phenomenon of osmosis. The distribution of the concentration of saline solutions during moisture transfer and osmosis acquires higher values compared to the results without taking osmosis into consideration. The established features can be successfully applied to clean the fertile soil layer and resume agricultural activities.

**Keywords:** moisture-, heat-, and mass transfer, aeration zone (incomplete saturation), method of finite differences.

#### References

- Çermikli, E., Şen, F., Altıok, E., Wolska, J., Cyganowski, P., Kabay, N., Bryjak, M., Arda, M., Yüksel, M. (2020). Performances of novel chelating ion exchange resins for boron and arsenic removal from saline geothermal water using adsorption-membrane filtration hybrid process. *Desalination*, 491, 114504. doi: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114504>
- Lekakis, E. H., Antonopoulos, V. Z. (2015). Modeling the effects of different irrigation water salinity on soil water movement, uptake and multicomponent solute transport. *Journal of Hydrology*, 530, 431–446. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.070>
- Karwa, R. (2020). *Heat and Mass Transfer*. Publisher: Springer Nature. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3988-6>
- Xu, F., Zhang, Y., Jin, G., Li, B., Kim, Y.-S., Xie, G., Fu, Z. (2018). Three phase heat and mass transfer model for unsaturated soil freezing process: Part 1 – model development. *Open Physics*, 16 (1), 75–83. doi: <https://doi.org/10.1515/phys-2018-0014>
- Zhang, Y., Xu, F., Li, B., Kim, Y.-S., Zhao, W., Xie, G., Fu, Z. (2018). Three phase heat and mass transfer model for unsaturated soil freezing process: Part 2 – model validation. *Open Physics*, 16 (1), 84–92. doi: <https://doi.org/10.1515/phys-2018-0015>
- Chen, Y., Lai, Y., Li, H., Pei, W. (2022). Finite element analysis of heat and mass transfer in unsaturated freezing soils: Formulation and verification. *Computers and Geotechnics*, 149, 104848. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104848>
- Vlasiuk, A. P., Ilkiv, I. V. (2018). Matematyčne ta kompiuterne modeliuвання perenesennia solei pry filtratsii ta volohoprenesenni v nasycheno-nenasychenykh hruntakh v odnovymirnomu vypadku v neizotermichnykh umovakh. Suchasni problemy matematychnoho modeliuвання, prohnozuvannia ta optymizatsii. Kamianets-Podilskyi, 22.
- Vlasyuk, A. P., Ilkiv, I. V. (2018). Mathematical modelling of salt transfer in horizontal non-saturated soil mass under nonisothermal conditions. Problems of decision making under uncertainties. *Lancaran-Baku*, 132.
- Vlasyuk, A. P., Zhukovskii, V. V. (2017). Mathematical Simulation of the Migration of Radionuclides in a Soil Medium Under Nonisothermal Conditions with Account for Catalytic Microparticles and Nonlinear Processes. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 90 (6), 1386–1398. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-017-1697-4>
- Vlasyuk, A. P., Tsvetkova, T. P. (2015). Mathematical Simulation of the Transport of Salt in the Case of Filtration and Moisture Transfer in Saturated–Unsaturated Soils in a Moistening Regime. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 88 (5), 1062–1073. doi: <https://doi.org/10.1007/s10891-015-1285-4>
- Vlasyuk, A., Tsvietkova, T., Ilkiv, I., Ogiychuk, V. (2021). Mathematical modelling of the infiltration impact on heat mass transfer in layered soils under conditions of heat transfer. Conference Paper 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT2021), Deggendorf, 9–12. doi: <https://doi.org/10.1109/acit52158.2021.9548542>
- Zhangxin, C., Yuanle, M. (2006). *Computational Methods for Multiphase Flows in Porous Media (Computational Science and Engineering)*. Paperback. Society for Industrial and Applied Mathematic, 531.
- Bear, J., Bachmat, Y. (2022). *Introduction to modeling of Transport Phenomena in Porous Media*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 580. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1926-6>
- Kuzlo, M., Zhukovska, N., Zhukovskyy, V., Tarasyuk, N. (2020). Experimental Investigations of Filtration Coefficient of Clay Soils under Anthropogenic Factors Influence. 2020 IEEE 15th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2020 – Proceedings, 1, 411–414. doi: <http://doi.org/10.1109/csit49958.2020.9321879>

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265764

#### DEVELOPMENT OF DIESEL-OXYGENATED BLENDS AND EXHAUST GAS RECIRCULATION IMPACT ON DIESEL ENGINE'S PERFORMANCE AND EMISSION (p. 32–38)

Lina J. Talib

University of Technology - Iraq, Baghdad, Iraq  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6847-2010>

Adel M. Salih

University of Technology - Iraq, Baghdad, Iraq  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0422-1308>

Most research studies have focused on reducing NO<sub>x</sub> emitted from diesel engines by adding oxygenated fuels (such as alcohol and biodiesel) to diesel to prepare a good alternative to conventional diesel fuels. Biofuels produced from vegetable oil and waste cooking oil while alcohol can be produced from sugarcane and corn. In the current study, the biodiesel used in the tests was derived from waste cooking oil. In this study, the influence of adding Exhaust Gas Recirculation (EGR) to diesel, biodiesel (D80B20), diesel-pentanol (D85PEN15), diesel octanol (D90OCT10), diesel-propylol (D95PRO5) and diesel-biodiesel-pentanol (D50B40PEN10) blends on performance and emitted pollutants of a diesel engine was investigated. The practical experiments were divided into two parts, the first section comparing the results of using diesel and other fuels at different speeds 2100, 2400, 2700 and 3000 rpm at constant loads without EGR. The second section studied the effect of adding EGR in variable proportions (5%, 10%, 15% and 20%) to the studied fuel mixtures at constant loads and speed. The results showed that adding biodiesel to diesel (without EGR) increases brake specific fuel consumption, NO<sub>x</sub> and CO<sub>2</sub> emissions by 13.66%, 41.35% and 30.49%, respectively, but, the thermal efficiency of the brakes, exhaust gas temperatures, UHC and CO decreases at rates

of 12.58 %, 10.22 %, 18.9 % and 21.31 %, respectively, compared to diesel. When EGR was added at 20 %, the maximum increase for D80B20, D95PRO5, ED100, and D85PENT15 was: 18.38 %, 24.60 %, 45.84 %, and 20 %, respectively, compared to when no EGR was added. The thermal efficiency, exhaust gases temperature and NOx levels decreased when EGR rate was raised.

**Keywords:** EGR, biodiesel, pentanol, octanol, propanol, fuel consumption, thermal efficiency, NOx.

## References

- Shi, X., Liu, B., Zhang, C., Hu, J., Zeng, Q. (2017). A study on combined effect of high EGR rate and biodiesel on combustion and emission performance of a diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 125, 1272–1279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.083>
- Rustamov, N., Meirbekova, O., Kibishov, A., Babakhan, S., Berguzinov, A. (2022). Creation of a hybrid power plant operating on the basis of a gas turbine engine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (8 (116)), 29–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.255451>
- Pavlenko, D., Kondratiuk, E., Torba, Y., Vyshnepolskyi, Y., Stepanov, D. (2022). Improving the efficiency of finishing-hardening treatment of gas turbine engine blades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (12 (115)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252292>
- Faik, A. M. E.-D., Theeb, M. A., Zhang, Y. (2020). Post-Impact Characteristics of a Diesel-in-Water Emulsion Droplet on a Flat Surface Below the Leidenfrost Temperature. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10 (2), 297–306. doi: <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.34036>
- Dhahad, H. A., Chaichan, M. T. (2020). The impact of adding nano- $\text{Al}_2\text{O}_3$  and nano-ZnO to Iraqi diesel fuel in terms of compression ignition engines' performance and emitted pollutants. *Thermal Science and Engineering Progress*, 18, 100535. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100535>
- Tran, V. D., Le, A. T., Hoang, A. T. (2020). An Experimental Study on the Performance Characteristics of a Diesel Engine Fueled with ULSD-Biodiesel Blends. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10 (2), 183–190. doi: <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.34022>
- Dhahad, H. A., Fayad, M. A., Chaichan, M. T., Abdulhady Jaber, A., Megaritis, T. (2021). Influence of fuel injection timing strategies on performance, combustion, emissions and particulate matter characteristics fueled with rapeseed methyl ester in modern diesel engine. *Fuel*, 306, 121589. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121589>
- Çelebi, Y., Aydın, H. (2018). Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine. *Fuel*, 222, 385–393. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.174>
- Ekaab, N. S., Hamza, N. H., Chaichan, M. T. (2019). Performance and emitted pollutants assessment of diesel engine fuelled with biokerosene. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.100381>
- Nour, M., Attia, A. M. A., Nada, S. A. (2019). Combustion, performance and emission analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 185, 313–329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.105>
- Achuthanunni, V., Baiju, B. (2014). Experimental investigation of a diesel-biodiesel fuelled compression ignition engine with exhaust gas recirculation (EGR). *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 4 (1), 7–10. Available at: <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v4i1/A3410104114.pdf>
- Attia, A. M. A., Hassaneen, A. E. (2016). Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance. *Fuel*, 167, 316–328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.11.064>
- Song, H., Tompkins, B. T., Bittle, J. A., Jacobs, T. J. (2012). Comparisons of NO emissions and soot concentrations from biodiesel-fuelled diesel engine. *Fuel*, 96, 446–453. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.01.004>
- Hoekman, S. K., Robbins, C. (2012). Review of the effects of biodiesel on NOx emissions. *Fuel Processing Technology*, 96, 237–249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.12.036>
- Yasin, M. H. M., Mamat, R., Yusop, A. F., Idris, D. M. N. D., Yusaf, T., Rasul, M., Najafi, G. (2017). Study of a Diesel Engine Performance with Exhaust Gas Recirculation (EGR) System Fuelled with Palm Biodiesel. *Energy Procedia*, 110, 26–31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.100>
- Goh, B. H. H., Chong, C. T., Ong, H. C., Milano, J., Shamsuddin, A. H., Lee, X. J., Ng, J.-H. (2022). Strategies for fuel property enhancement for second-generation multi-feedstock biodiesel. *Fuel*, 315, 123178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123178>
- Majdi, H. S., Habeeb, L. J., Chaichan, M. T. (2020). Biofuel Addition to Kerosene-A Way to Reduce the Level of Contamination. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 68 (2), 51–57. doi: <https://doi.org/10.37934/arfmts.68.2.5157>
- Vergel-Ortega, M., Valencia-Ochoa, G., Duarte-Forero, J. (2021). Experimental study of emissions in single-cylinder diesel engine operating with diesel-biodiesel blends of palm oil-sunflower oil and ethanol. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101190>
- Tan, Z., Wang, J., Chen, W., Shen, L., Bi, Y. (2021). Study on the Influence of EGR on the Combustion Performance of Biofuel Diesel at Different Ambient Simulated Pressures. *Sustainability*, 13 (14), 7862. doi: <https://doi.org/10.3390/su13147862>
- Squaiella, L. L. F., Martins, C. A., Lacava, P. T. (2013). Strategies for emission control in diesel engine to meet Euro VI. *Fuel*, 104, 183–193. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.07.027>
- Chen, H., Xie, B., Ma, J., Chen, Y. (2018). NOx emission of biodiesel compared to diesel: Higher or lower? *Applied Thermal Engineering*, 137, 584–593. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.022>
- Jiaqiang, E., Pham, M., Zhao, D., Deng, Y., Le, D., Zuo, W. et al. (2017). Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 620–647. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.250>
- Saleh, H. E. (2009). Experimental study on diesel engine nitrogen oxide reduction running with jojoba methyl ester by exhaust gas recirculation. *Fuel*, 88 (8), 1357–1364. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.01.023>
- Subramani, K., Karuppusamy, M. (2021). Performance, combustion and emission characteristics of variable compression ratio engine using waste cooking oil biodiesel with added nanoparticles and diesel blends. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (45), 63706–63722. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14768-8>
- Fayad, M. A., Chaichan, M. T., Dhahad, H. A. (2021). The effect of first generation biofuel on emission characteristics under variable conditions of engine speeds and loads in diesel engine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973 (1), 012041. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012041>
- Fayad, M. A., Abd, A. O., Chaichan, M. T., Dhahad, H. A., Ezzi, A. A. (2022). Investigation the combined effects of exhaust gas recirculation (EGR) and alcohol-diesel blends in improvement of NOx-PM Trade-off in compression ignition (CI) diesel engine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 961 (1), 012048. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/961/1/012048>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265758**  
**DETERMINING PATTERNS OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES OF THE EXTERNAL ENVIRONMENT ON HEAD PROTECTION FOR A MOUNTAIN RESCUER (p. 39–48)**

**Borys Bolibrukh**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9879-7454>

**Oleksandr Tokarskiy**

Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6683-8437>

**Oleksandr Kovalenko**

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5073-3507>

**Serhiy Stasevych**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9985-9485>

**Oksana Tykhenko**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6459-6497>

The basic principles of the need to develop a methodology for determining the level of protection of the rescuer's head during search and rescue operations in mountainous areas under conditions of low temperatures have been substantiated in this paper. The shortcomings of the existing system for ensuring the safe mode of search and rescue operations of rescuers in mountainous areas at low temperatures have been identified. Based on the statistical analysis of search and rescue operations, it was established that the greatest number of them occurs in the fall-winter period. It was determined that on the territory of the Carpathian Mountains the largest number of search and rescue operations is carried out in Zakarpattia, Ivano-Frankivsk, and Lviv oblasts. An analysis of working conditions was carried out. The results of studies into the effectiveness of thermal insulation of protective clothing of a mountain rescuer were analyzed. Mathematical modeling of heat and mass transfer in the body of a mountain rescuer was carried out using MATLAB software. Modeling of changes in temperature processes in the volume of the rescue head model was carried out under the influence of environmental temperatures:  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ , and a metabolic rate of  $600\text{ W/m}^2$ . Modeling was carried out on a 4-layer segment of the head. It was established that the effect of low temperatures on the face, head and, accordingly, the hypothalamus through the frontal part of the rescuer's skull leads to disability already at minute 17 in the absence of head protection equipment. The use of a model for predicting a decrease in body temperature as a result of exposure to the external environment and the level of protection by the rescuer's individual means will determine the time of risky decrease in brain temperature (up to  $+32^{\circ}\text{C}$ ) and prevent a negative impact on the health of the rescuer.

**Keywords:** search and rescue operations, low temperatures, protective clothing, heat and mass transfer modeling, rescuer's head.

#### References

1. Saedpanah, K., Aliabadi, M., Motamedzade, M., Golmohammadi, R. (2018). The effects of short-term and long-term exposure to extreme cold environment on the body's physiological responses: An experimental study. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 29 (2), 163–171. doi: <https://doi.org/10.1002/hfm.20770>
2. Stocks, J., Taylor, N., Tipton, M., Greenleaf, J. (2004). Human Physiological Responses to Cold Exposure. *Aviation, space, and environmental medicine*, 75 (5), 444–457. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/8553221\\_Human\\_Physiological\\_Responses\\_to\\_Cold\\_Exposure](https://www.researchgate.net/publication/8553221_Human_Physiological_Responses_to_Cold_Exposure)
3. Jussila, K., Rissanen, S., Aminoff, A., Wahlström, J., Vaktskjold, A., Talykova, L. et al. (2017). Thermal comfort sustained by cold protective clothing in Arctic open-pit mining – a thermal manikin and questionnaire study. *Industrial Health*, 55 (6), 537–548. doi: <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0154>
4. ISO 9920:2007. Ergonomics of the thermal environment – Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Available at: <https://www.iso.org/standard/39257.html>
5. Mosleh, S., Abtew, M. A., Bruniaux, P., Tartare, G., Loghin, E.-C., Dulgheriu, I. (2021). Modeling and Simulation of Human Body Heat Transfer System Based on Air Space Values in 3D Clothing Model. *Materials*, 14 (21), 6675. doi: <https://doi.org/10.3390/ma14216675>
6. Jones, B. W. (2002). Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards. *Energy and Buildings*, 34 (6), 653–659. doi: [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00016-6](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00016-6)
7. Das, H., Naik, B., Behera, H. S. (2020). Medical disease analysis using Neuro-Fuzzy with Feature Extraction Model for classification. *Informatics in Medicine Unlocked*, 18, 100288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2019.100288>
8. Castellani, J. W., Young, A. J., Ducharme, M. B., Giesbrecht, G. G., Glickman, E., Sallis, R. E. (2006). Prevention of Cold Injuries during Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38 (11), 2012–2029. doi: <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000241641.75101.64>
9. Zvitni materialy Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh situatsiy za 2016-2020 rr.
10. Tokarskiy, O. I., Bolibrukh, B. V. (2019). Problemy intehratsiyi vy-moh bezpeky pratsi riatuvalnykh Ukrainy do Yevropeiskoi systemy. *Zbirnyk statei mizhnarodnoi naukovoï konferentsiyi «Bezpeka, Ekstremizm, teroryzm 2019»*. Podhaisk, 51–55.
11. DSTU EN ISO 15831:2007. Clothing. Physiological estimation measurement of thermal insulation by means of a thermal manikin (EN ISO 15831:2004, IDT) (2011). Kyiv.
12. DSTU ISO/TR 11079-2002. Odiah. Vyznachennia neobkhidnykh izoliatsiynykh kharakterystyk (ISO/TR 11079:1993, IDT). Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=64077](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64077)
13. DSTU EN 511:2005. Rukavychky dlia zakhystu vid znyzhenykh temperatur. Zahalni tekhnichni vymohy ta metody vyprobuvannia (EN 511:1994, IDT) (2008). Kyiv. Available at: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=51172](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=51172)
14. EN 13087-5 Zakhysni sholomy - Metody vyprobuvan - Chastyna 5: Mitsnist systemy utrymannia. EN 397 Kasky dlia promyslovoi bezpeky.
15. EN ISO 15831:2004 - Odiah - Fiziologichni efekty - Vymiruvannia teploizoliatsiyi za dopomohoiu teplovoho manykna (ISO 15831:2004 vyznachennia teploizoliatsiyi odiahu z vykorystanniam termomanekna za PN-EN ISO 15831: 2018 i PN EN 342:2018.).
16. Pennes, H. H. (1948). Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm. *Journal of Applied Physiology*, 1 (2), 93–122. doi: <https://doi.org/10.1152/jappl.1948.1.2.93>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265781**

**PECULIARITIES OF AMPLITUDE SPECTRA OF THE THIRD ORDER FOR THE EARLY DETECTION OF INDOOR FIRES (p. 49–56)**

**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>

**Alexander Savchenko**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1305-7415>

**Olena Dashkovska**

Institute of Education Content Modernization, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3289-8858>

**Serhii Harbuz**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6345-6214>

**Elena Naden**

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3488-0662>

**Ivan Chornomaz**

Cherkasy Institute of Fire Safety  
 named after Chernobyl Heroes of National University  
 of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9742-0201>

**Svitlana Hryshko**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,  
 Melitopol, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5054-3893>

**Oleksandr Nepsha**

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,  
 Melitopol, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3929-9946>

**Dmytro Morkvin**

National Academy of the National Guard of Ukraine,  
 Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3651-6805>

The object of this study is the dynamics of hazardous parameters of the gas environment during the ignition of materials. The problem that was solved is the early detection of fires in the premises. The research results indicate the nonlinear nature of the dynamics of hazardous parameters of the gas environment in the absence and presence of materials ignition. It was established that the bispectrum amplitude, in contrast to the amplitude spectrum of the hazardous parameters of the gas medium, contains information on the reliable detection of fires. As such information, the value of the positive dynamic amplitude range of bispectrum is used. It was established that during the ignition of alcohol, the positive dynamics of the amplitude bispectrum of all dangerous parameters of the gas medium change. Significant changes are characteristic of smoke density (from 1 dB to 30 dB) and temperature (from 1 dB to 70 dB). The dynamic range of amplitude bispectrum for CO concentration is increased from 30 dB to 70 dB. Paper ignition was found to reduce the dynamic range of the amplitude bispectrum for smoke density from 40 dB to 20 dB. At the same time, the dynamic range of amplitude bispectrum for carbon monoxide concentration and temperature increases to 60 dB. The ignition of wood causes an increase in the dynamic range of the amplitude bispectrum relative to the concentration of carbon monoxide from 40 dB to 60 dB, and the temperature – from 30 dB to 40 dB. It was established that when textiles are ignited, the range of dynamics of the amplitude bispectrum for temperature increases from 10 dB to 60 dB. The results indicate that the dynamic characteristics of the amplitudes of the bispectrum of the gas medium can be used in practice for the early detection of fires in the premises.

**Keywords:** materials ignition, gas environment of premises, amplitude bispectrum, dynamic range, detection of fires.

**References**

- 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>
- Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnaya, M., Vinogradov, S., Gricina, I. (2015). The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics*, 9 (1), 9–20. doi: <https://doi.org/10.1260/1750-9548.9.1.9>
- Andronov, V., Pospelov, B., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Examining the learning fire detectors under real conditions of application. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (87)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101985>
- Migalenko, K., Nuianzin, V., Zemlianskyi, 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>
- 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)
- 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>
- Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with finelydispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (10 (92)), 38–43. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127865>
- 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>
- Reproduced with permission from fire loss in the United States during 2019 (2020). National Fire Protection Association.
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
15. 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: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
  16. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Samoilo, 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>
  17. 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>
  18. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Design of fire detectors capable of self-adjusting by ignition. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (88)), 53–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.108448>
  19. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Skliarov, S. (2017). Research into dynamics of setting the threshold and a probability of ignition detection by self-adjusting fire detectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (89)), 43–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110092>
  20. 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)
  21. 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>
  22. BS EN 54-30:2015. Fire detection and fire alarm systems. Multi-sensor fire detectors. Point detectors using a combination of carbon monoxide and heat sensors. doi: <https://doi.org/10.3403/30266860u>
  23. BS EN 54-31:2014. Fire detection and fire alarm system - Part 31: Multi-sensor fire detectors - Point detectors using a combination of smoke, carbon monoxide and optionally heat sensors. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/6d78459f-6378-4845-bf94-3e52a88692df/en-54-31-2014>
  24. ISO 7240-8:2014. Fire detection and alarm systems – Part 8: Point-type fire detectors using a carbon monoxide sensor in combination with a heat sensor.
  25. Aspey, R. A., Brazier, K. J., Spencer, J. W. (2005). Multiwavelength sensing of smoke using a polychromatic LED: Mie extinction characterization using HLS analysis. *IEEE Sensors Journal*, 5 (5), 1050–1056. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2005.845207>
  26. Chen, S.-J., Hovde, D. C., Peterson, K. A., Marshall, A. W. (2007). Fire detection using smoke and gas sensors. *Fire Safety Journal*, 42 (8), 507–515. doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2007.01.006>
  27. Shi, M., Bermak, A., Chandrasekaran, S., Amira, A., Brahim-Belhouari, S. (2008). A Committee Machine Gas Identification System Based on Dynamically Reconfigurable FPGA. *IEEE Sensors Journal*, 8 (4), 403–414. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2008.917124>
  28. Skinner, A. J., Lambert, M. F. (2006). Using Smart Sensor Strings for Continuous Monitoring of Temperature Stratification in Large Water Bodies. *IEEE Sensors Journal*, 6 (6), 1473–1481. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2006.881373>
  29. Cheon, J., Lee, J., Lee, I., Chae, Y., Yoo, Y., Han, G. (2009). A Single-Chip CMOS Smoke and Temperature Sensor for an Intelligent Fire Detector. *IEEE Sensors Journal*, 9 (8), 914–921. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2009.2024703>
  30. Wu, Y., Harada, T. (2004). Study on the Burning Behaviour of Plantation Wood. *Scientia Silvae Sinicae*, 40, 131.
  31. Zhang, D., Xue, W. (2010). Effect of Heat Radiation on Combustion Heat Release Rate of Larch. *Journal of West China Forestry Science*, 39, 148.
  32. Ji, J., Yang, L., Fan, W. (2003). Experimental Study on Effects of Burning Behaviours of Materials Caused by External Heat Radiation. *Journal of Combustion Science and Technology*, 9, 139.
  33. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental Analysis on Heat Release Rate of Materials. *Journal of Chongqing University*, 28, 122.
  34. 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>
  35. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, 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>
  36. 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>
  37. 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>
  38. 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>
  39. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Borodych, P., Gornostal, S. (2019). Development of the method for rapid detection of hazardous atmospheric pollution of cities with the help of recurrence measures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (97)), 29–35. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155027>
  40. 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>
  41. 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>
  42. 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>
  43. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Bezuhla, Y., Liashevska, 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 Technolo-*



- gies, 4 (10 (118)), 60–66. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263194>
44. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., Overholt, K. (2016). Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide. Vol. 3. National Institute of Standards and Technology. Available at: [https://www.fse-italia.eu/PDF/ManualiFDS/FDS\\_Validation\\_Guide.pdf](https://www.fse-italia.eu/PDF/ManualiFDS/FDS_Validation_Guide.pdf)
  45. Floyd, J., Forney, G., Hostikka, S., Korhonen, T., McDermott, R., McGrattan, K. (2013). Fire Dynamics Simulator (Version 6) User's Guide. National Institute of Standard and Technology. Vol. 1.
  46. Polstiankin, R. M., Pospelov, B. B. (2015). Stochastic models of hazardous factors and parameters of a fire in the premises. *Problemy požarnoy bezopasnosti*, 38, 130–135. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb\\_2015\\_38\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2015_38_24)
  47. Heskestad, G., Newman, J. S. (1992). Fire detection using cross-correlations of sensor signals. *Fire Safety Journal*, 18 (4), 355–374. doi: [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(92\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0379-7112(92)90024-7)
  48. Gottuk, D. T., Wright, M. T., Wong, J. T., Pham, H. V., Rose-Pehrsson, 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.
  49. Saeed, M., Alfatih, S. (2013). Nonlinearity detection in hydraulic machines utilizing bispectral analysis. *TJ Mechanical engineering and machinery*, 13–21.
  50. 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>
  51. 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>
  52. 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>
  53. Max, J. (1981). *Principes generaux et methods classiques*. Vol. 1. Paris, 311.
  54. Mohankumar, K. (2015). Implementation of an underwater target classifier using higher order spectral features. *Cochin*. Available at: <https://dyuthi.cusat.ac.in/xmlui/bitstream/handle/purl/5368/T-2396.pdf?sequence=1>
  55. 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>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266014**

**ESTABLISHING PATTERNS OF NITROGEN APPLICATION FOR FIRE SAFETY OF SUNFLOWER GRAIN STORAGE FACILITIES (p. 57–65)**

**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>

**Kostiantyn Sokolenko**

Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4436-0377>

**Roman Vasylyshyn**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

**Oleksandr Melnyk**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3967-4710>

**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>

**Olga Bondarenko**

Kyiv National University of Construction and Architecture,  
Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8164-6473>

**Anatolii Karpuk**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7619-4161>

The issue of using nitrogen to eliminate fires in granaries is related to ventilating the grain mass with nitrogen while it is necessary to take into consideration the change in gas concentration. Therefore, the object of this research was the value of the minimum concentration of nitrogen to eliminate the combustion of sunflower grain. It has been proven that in the process of thermal destruction of sunflower grain, the composition of gaseous products of thermal destruction of sunflower grain contains more than 70 % of combustible gases. Namely: carbon monoxide, over 51 %; hydrogen, about 5.7 %; and hydrocarbons with a total concentration of 13.72 %, which provide fire hazardous properties of organic material. Therefore, it should be noted that the release of the amount of combustible gases during pyrolysis requires a reduction in the amount of oxygen in the gas-air environment to eliminate fire sites. Obviously, such a mechanism for the decomposition of sunflower grain during pyrolysis is a factor in regulating the extinguishing process, due to which the amount of nitrogen to eliminate combustion increases. Comparison of experimental studies on the composition of gaseous products of thermal destruction of sunflower grain and studies to determine the minimum fire extinguishing concentration of nitrogen, at which combustion was stopped, made it possible to justify the use of nitrogen. Based on the study's results on the elimination with nitrogen of fire sites of sunflower grain, the values of the minimum fire extinguishing concentration were revealed at extinguishing, about 33.7 % by volume. At the same time, terminating the combustion of sunflower grain occurs with a decrease in the concentration of oxygen in the gas-air environment of about 14 %. The practical significance is the fact that the results obtained for determining the minimum fire extinguishing concentration of nitrogen make it possible to establish operating conditions for granaries when eliminating fire sites.

**Keywords:** sunflower grain, fire site, amount of nitrogen, fire extinguishing, oxygen concentration.

**References**

1. Kubica, P., Boroń, S. (2018). Modeling of the process of the extinguishing gas concentration changes in the protected compartment. *MATEC Web of Conferences*, 247, 00041. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824700041>
2. Lang, L., Chengyun, X., Xinyu, L. (2017). Heat and mass transfer of liquid nitrogen in coal porous media. *Heat and Mass Transfer*, 54 (4), 1101–1111. doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-017-2167-4>
3. Shi, B., Zhou, F. (2016). Fire extinguishment behaviors of liquid fuel using liquid nitrogen jet. *Process Safety Progress*, 35 (4), 407–413. doi: <https://doi.org/10.1002/prs.11815>
4. Balanyuk, V., Kozyar, N., Garasymyuk, O. (2016). Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aero-

- sol-nitrogen mixtures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (81)), 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72399>
5. Ma, Q., Wan, M., Shao, J., Zhang, H. (2020). Pool fire suppression performance by twin-fluid water mist under low pressures in an altitude chamber. *Process Safety Progress*, 40 (1). doi: <https://doi.org/10.1002/prs.12155>
  6. Shi, B., Zhou, F. (2016). Application of a liquid nitrogen direct jet system to the extinguishment of oil pool fires in open space. *Process Safety Progress*, 36 (2), 165–177. doi: <https://doi.org/10.1002/prs.11840>
  7. Reformatskaya, I. I., Begishev, I. R., Ascheulova, I. I., Podobae, A. N. (2020). Nitrogen Protection as Anticorrosion and Fireproofing Measure in the Use of Sour Crude Oil Storage Tanks. *Chemical and Petroleum Engineering*, 56 (7-8), 563–568. doi: <https://doi.org/10.1007/s10556-020-00810-y>
  8. Li, X., Zhang, G., Zhu, G., Yuan, D., Guo, D. (2022). Effect of blocking state on the fire-extinguishing efficiency of liquid nitrogen in a long and narrow space. *Case Studies in Thermal Engineering*, 29, 101720. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101720>
  9. Ni, X., Zheng, Z., Li, G., Wang, X. (2021). Evaluating the suppression effectiveness of hybrid nitrogen and water mist with a cup burner coflowing flame. *Fire and Materials*, 46 (2), 388–396. doi: <https://doi.org/10.1002/fam.2966>
  10. Gałaj, J., Drzymala, T. (2018). Assessment of extinguishing efficiency of hybrid system using water mist and inert gas during class A fires. *MATEC Web of Conferences*, 247, 00013. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824700013>
  11. Ji, H., Li, Y., Su, H., Cheng, W., Wu, X. (2019). Experimental Investigation on the Cooling and Inerting Effects of Liquid Nitrogen Injected into a Confined Space. *Symmetry*, 11 (4), 579. doi: <https://doi.org/10.3390/sym11040579>
  12. Liu, H., Wang, F. (2019). Research on N<sub>2</sub>-inhibitor-water mist fire prevention and extinguishing technology and equipment in coal mine goaf. *PLOS ONE*, 14 (9), e0222003. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222003>
  13. Li, H., Zhang, G., Jia, B., Zhu, G., Guo, D., Zhang, P. (2021). Experimental investigation on extinguishing characteristics of liquid nitrogen in underground long and narrow space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 114, 104009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104009>
  14. Yu, H.-Z., Kasiski, R., Daelhousen, M. (2014). Characterization of Twin-Fluid (Water Mist and Inert Gas) Fire Extinguishing Systems by Testing and Modeling. *Fire Technology*, 51 (4), 923–950. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-014-0428-z>
  15. Tsapko, Y., Tsapko, A. (2017). Establishment of the mechanism and fireproof efficiency of wood treated with an impregnating solution and coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (87)), 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102393>
  16. ISO 14520-1:2000(E). Gaseous fire-extinguishing systems. Physical properties and system design. Part 1: General requirements. ISO, 70. Available at: <https://www.irdetect.ro/ISO14520-1-2000.pdf>
  17. 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>
  18. Tsapko, Y., Tsapko, A. (2017). Influence of dry mixtures in a coating on the effectiveness of wood protection from the action of a magnesium flame. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (10 (89)), 55–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.111106>
  19. 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: 10.15587/1729-4061.2022.266012

**МЕХАНІЗМ ПЕРЕКАЛІБРУВАННЯ pH ПО РОЗЧИНеноМУ КИСНЮ У ЛУЖНІЙ МОДИФІКОВАНІЙ АКВАКУЛЬТУРНІЙ ВОДІ (с. 6–13)**

Wresti L., Anggayasti, Willy Satrio N., I Nyoman Gede Wardana, Andi Kurniawan

Баланс розчиненого кисню та рівня pH має першорядне значення в аквакультурі як середовищі для вирощування водних організмів у контрольованих умовах. Дисбаланс як кисню, так і pH, може серйозно пошкодити водні організми, що культивуються. Для запобігання гіпоксії та підтримці рівня pH культури використовуються різні стратегії. Цікаво, що гіпоксія чи позбавлення постачання киснем, в аквакультурі часто супроводжувалися підкисленням морської води. Незважаючи на це, не було жодних доказів того, що рівень  $O_2$  був безпосередньо пов'язаний із змінами pH. Таким чином, існуючі стратегії очищення розділені між підтримкою  $O_2$  та pH, що часто призводить до завищення вартості та створює навантаження на навколишнє середовище через використання синтетичних хімікатів. Це дослідження було проведено для вивчення механізму та ефекту додавання  $O_2$  до морської води для аквакультури на молекулярному рівні при зміні значення pH води. Розуміння механізму може призвести до альтернативи шкідливим методам обробки аквакультури. Молекулярно-механічний аналіз був застосований для вивчення механізму регулювання pH у неаерованій та аерованій морській воді. Результати показали, що  $O_2$  прискорює повторне калібрування pH морської води, особливо у зразках, модифікованих лугом, порівняно зі зразками, модифікованими кислотою. Механічне моделювання також показало, що відштовхування між  $O_2$  і викликає вібрацію, яка вкорочує зв'язок OH на 17,71 %, а зв'язок O-O подовжується на 1,00 %. Крім того, спиновий зв'язок між OH та  $O_2$  сприяє глобальному перенесенню енергії, що стимулює вібрацію лужно-модифікованої водної системи. Водночас, ці механізми дозволили значенню pH повернутися до вихідного рівня. Ці результати сприяють уявленню про молекулярний механізм підтримки pH в аквакультурі в присутності  $O_2$ , а також перегляд використання аерації при обробці аквакультури.

**Ключові слова:** аераційна обробка, молекулярний механізм, розчинений кисень, рекалібрування pH, морська вода аквакультури.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266015

**ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГІДРОДИНАМІКИ СТІЧНОЇ ВОДИ В БІОРЕАКТОРАХ НА ПРОЦЕС МАСООБМІНУ (с. 14–22)**

О. В. Воробйова

Анаеробний метод очищення стічних вод біотехнологічних та господарчих виробництв має великі перспективи для розвитку відновлювального джерела енергії. Біогаз, що виділяється в процесі роботи біореактора, можна використовувати в якості джерела енергії для виробництва електрики і тепла.

Розроблена конструкція апарату для очищення стічних вод з іммобілізованими на інертних носіях мікроорганізмами. Обігрів вихідного субстрату, що подається до біореактора, відбувається за допомогою термостаткування. Контроль температури вихідного субстрату проводиться за допомогою електронного вимірювача температур. Також проводиться контроль температури в біореакторі, для підтримки метанового росту мікроорганізмів в межах 35–37 °C, забезпечується датчиком температур. Газ, який виділяється в процесі експерименту, збирається в газозбірнику, де вимірюється його об'єм, завдяки під'єданого до газозбірника проторованого циліндру. Додатково в газозбірнику було встановлено датчик температури для визначення маси, зібраного в досліді біогазу. Завдяки високошвидкісній камери, що підключена до комп'ютера, було зафіксовано процес утворення та відриву газових бульбашок з біоплівки, а також товщину біоплівки на плоских носіях. Для визначення впливу гідродинаміки при ламінарному режимі подачі стічної води в каналах біореактора використовується в експериментальній установці перистальтичний дозуючий насос. В досліді змінювалась товщина біоплівки в межах від  $10^{-3}$  м до  $4,8 \cdot 10^{-3}$  м і, через це, відповідно, змінювалась ширина каналу, по якому рухався потік субстрату.

Експериментально було зафіксовано, що кількість виділеного біогазу зростає разом із збільшенням швидкості стічної води в каналах біореактора. За підсумком експериментів отримано критеріальне рівняння, за допомогою якого можна визначити коефіцієнт масовіддачі.

**Ключові слова:** одержання біогазу, вплив гідродинаміки на масообмін, стічна вода, плоскі носії.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265809

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ВОЛОГО- ТЕПЛО- МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ У НЕНАСИЧЕНОМУ ШАРІ ҐРУНТУ (с. 23–31)**

І. В. Ільків, В. В. Жуковський, Н. А. Жуковська, А. П. Сафоник

Методами математичного та комп'ютерного моделювання досліджено вплив взаємозв'язаних процесів перенесення сольових розчинів у ненасиченому шарі ґрунту. З цією метою розроблено математичну модель для моделювання відповідних процесів волого-тепло- і масоперенесення сольових розчинів у ненасиченому шарі ґрунту. Побудовано ефективний обчислювальний алгоритм чисельного розв'язання відповідної нелінійної крайової задачі методом скінченних різниць та виконано програмну реалізацію в середовищі програмування Asp.net на мові C++. На основі проведених чисельних експериментів отримано розподіл полів вологи, концентрації та температури в зоні аерації (неповного насичення). Для дослідження впливу масоперенесення солей на вологоперенесення знайдено чисельний розв'язок задачі вологоперенесення, задачі вологоперенесення з врахуванням масоперенесення та вологоперенесення

з врахуванням масоперенесення при наявності осмосу. Аналіз отриманих результатів показав, що розподіл концентрації сольових розчинів з часом є більш повільним і прогнозованим. Встановлено, що розподіл напорів вологи зростає з глибиною та часом при потраплянні сольових розчинів на поверхню ґрунтового масиву. З впливом концентрації солей розподіл вологи збільшується з глибиною та часом по всій області вологоперенесення на 1–3 %. Розподіл напорів вологи з врахуванням концентрації солей та осмосу зменшується на 3–5 % порівняно з результатами задачі без врахування явища осмосу. Розподіл концентрації сольових розчинів при вологоперенесенні та осмосі набуває більших значень, порівняно з результатами без врахування осмосу. Отримані особливості можна успішно використовувати для очищення родючого шару ґрунту і відновлення сільськогосподарської діяльності.

**Ключові слова:** волого- тепло- і масоперенесення, зона аерації (неповного насичення), метод скінченних різниць.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265764**

### **ВПЛИВ РОЗРОБКИ ДИЗЕЛЬНО-КИСЛОРОДНИХ СУМІШЕЙ ТА РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ І ВИКИДИ ДВИГУНА (р. 32–38)**

**Lina J. Talib, Adel M. Salih**

Більшість досліджень було зосереджено на зниженні викидів NOx дизельними двигунами шляхом додавання до дизельного палива кисневмісного палива (наприклад, спирту та біодизельного палива), щоб підготувати хорошу альтернативу звичайному дизельному паливу. Біопаливо виробляють з рослинної олії та відпрацьованої рослинної олії, а алкоголь можна виробляти з цукрової тростини та кукурудзи. У поточному дослідженні біодизельне паливо, що використовується в тестах, було отримано з відпрацьованої кулінарної олії. В цьому дослідженні вивчався вплив додавання системи рециркуляції відпрацьованих газів (РВГ) до дизельного палива, біодизельного палива (D80B20), дизельного палива на пентанолі (D85PEN15), дизельного палива на октанолі (D90OCT10), дизельного палива біодизельного палива на пентанолі (D50B40PEN10) сумішей на продуктивність і забруднюючі речовини дизельного двигуна, що викидаються. Практичні експерименти були поділені на дві частини, у першій частині порівнювалися результати використання дизеля та інших видів палива при різних швидкостях 2100, 2400, 2700 та 3000 об/хв при постійних навантаженнях без РВГ. У другому розділі вивчався вплив додавання РВГ у різних пропорціях (5 %, 10 %, 15 % та 20 %) до досліджуваних паливних сумішей при постійних навантаженнях та частоті обертання. Результати показали, що додавання біодизеля до дизельного палива (без РВГ) збільшує питому витрату палива гальмами, викиди NOx та CO<sub>2</sub> на 13,66 %, 41,35 % та 30,49 % відповідно, але тепловий ККД гальм, температура вихлопних газів, УНС та СО знижуються на 12,58 %, 10,22 %, 18,9 % та 21,31 % відповідно порівняно з дизельним паливом. Коли РВГ був доданий на 20 %, максимальне збільшення для D80B20, D95PRO5, ED100 та D85PEN15 склало: 18,38 %, 24,60 %, 45,84 % та 20 % відповідно порівняно з тим, коли EGR не додався. Термічний ККД, температура вихлопних газів і рівень NOx знижувалися при підвищенні швидкості рециркуляції газів, що відпрацьовували.

**Ключові слова:** РВГ, біодизель, пентанол, октанол, пропанол, витрата палива, тепловий ККД, NOx.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265758**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ЗАХИСТ ГОЛОВИ РЯТУВАЛЬНИКА ГІРСЬКОГО (р. 39–48)**

**Б. В. Болібрех, О. І. Токарський, О. О. Коваленко, С. П. Стасевич, О. М. Тихенко**

Обґрунтовано основні засади необхідності розробки методики визначення рівня захисту голови рятувальника під час проведення пошуково-рятувальних робіт в гірській місцевості за умов впливу низьких температур. Визначено недоліки існуючої системи забезпечення безпечного режиму пошуково-рятувальних робіт рятувальників в гірській місцевості за низьких температур. На підставі статистичного аналізу пошуково-рятувальних робіт встановлено, що найбільша їх кількість відбувається в осінньо-зимовий період. Визначено, що на території Карпатських гір найбільша кількість пошуково-рятувальних робіт здійснюється в Закарпатській, Івано-Франківській та Львівській областях. Здійснено аналіз умов праці. Проаналізовано результати досліджень ефективності теплоізоляції захисного одягу рятувальника гірського. Проведено математичне моделювання тепломасопереносу в тілі рятувальника гірського із застосуванням програмного забезпечення MATLAB. Моделювання зміни температурних процесів в об'ємі моделі голови рятувальника здійснювалось за умов впливу температур зовнішнього середовища: –10 °С, –20 °С, –30 °С та швидкості метаболізму 600 Вт/м<sup>2</sup>. Моделювання здійснювалось за 4-х шаровим сегментом голови. Встановлено, що вплив низьких температур на обличчя, голову і, відповідно, гіпоталамус через фронтальну частину черепа рятувальника призводить до втрати працездатності вже на 17 хвилині за умов відсутності засобів захисту голови. Застосування моделі прогнозування зниження температури тіла в результаті впливу зовнішнього середовища та рівня захисту індивідуальними засобами рятувальника дозволить визначити час ризикового зниження температури мозку (до +32 °С) та попередити негативний вплив на здоров'я рятувальника.

**Ключові слова:** пошуково-рятувальні роботи, низькі температури, захисний одяг, моделювання тепломасопереносу, голова рятувальника.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265781**

### **ОСОБЛИВОСТІ АМПЛІТУДНИХ СПЕКТРІВ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ЗАГОРЯНЬ У ПРИМІЩЕННЯХ (р. 49–56)**

**Б. Б. Поспелов, Є. О. Рибка, О. В. Савченко, О. В. Дашковська, С. В. Гарбуз, О. В. Надьон, І. К. Черномаз, С. В. Гришко, О. В. Непша, Д. А. Моргвін**

Об'єктом дослідження є динаміка небезпечних параметрів газового середовища під час загоряння матеріалів. Проблема, що вирішувалась, полягає у ранньому виявленні загорянь у приміщеннях. Результати досліджень свідчать про нелінійний характер динаміки

небезпечних параметрів газового середовища за відсутності та наявності загоряння матеріалів. Встановлено, що амплітуда біспектра, на відміну від амплітудного спектру небезпечних параметрів газового середовища, містить інформацію щодо надійного виявлення загорянь. В якості такої інформації використовується величина позитивного динамічного діапазону амплітуд біспектра. Отримано, що при загорянні спирту змінюється позитивна динаміка амплітудного біспектра всіх небезпечних параметрів газового середовища. Суттєві зміни характерні для щільності диму (з 1 дБ до 30 дБ) та температури (з 1 дБ до 70 дБ). Динамічний діапазон амплітудного біспектра для концентрації СО збільшується з 30 дБ до 70 дБ. Встановлено, що загоряння паперу спричиняє зниження динамічного діапазону амплітудного біспектра для щільності диму з 40 дБ до 20 дБ. При цьому динамічний діапазон амплітудного біспектра для концентрації чадного газу та температури збільшується до 60 дБ. Загоряння деревини викликає зростання динамічного діапазону амплітудного біспектра щодо концентрації чадного газу від 40 дБ до 60 дБ, а температури – від 30 дБ до 40 дБ. Встановлено, що при загорянні текстилю діапазон динаміки амплітудного біспектра для температури збільшується від 10 дБ до 60 дБ. Одержані результати свідчать про те, що динамічні характеристики амплітуд біспектру газового середовища можуть бути використані на практиці для раннього виявлення загорянь у приміщеннях.

**Ключові слова:** загоряння матеріалів, газове середовище приміщень, амплітудний біспектр, динамічний діапазон, виявлення загорянь.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.266014

## ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ АЗОТУ ДЛЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ЗЕРНОСХОВИЩ СОНЯШНИКА (с. 57–65)

Ю. В. Цапко, К. І. Соколенко, Р. Д. Василюшин, О. М. Мельник, О. Ю. Цапко, О. П. Бондаренко, А. І. Карпук

Проблема застосування азоту для ліквідації осередків пожежі у зернохосовищах полягає в вентилюванні зернової маси азотом, але необхідно врахувати зміну концентрації газу. Тому об'єктом досліджень було значення мінімальної концентрації азоту для ліквідації горіння зерна соняшника. Доведено, що в процесі термічної деструкції зерна соняшника склад газоподібних продуктів термічної деструкції зерна соняшника вміщує понад 70 % горючих газів. А саме: оксиду вуглецю понад 51 % водню близько 5,7 % і вуглеводнів, сумарною концентрацією 13,72 %, які забезпечують пожежонебезпечні властивості органічного матеріалу. Тому слід врахувати, що виділення кількості горючих газів при піролізі потребує зниження кількості кисню в газоповітряному середовищі для ліквідації осередків пожежі. Вочевидь такий механізм розкладу зерна соняшника при піролізі є фактором регулювання процесу гасіння, завдяки якому кількість азоту для ліквідації горіння підвищується. Зіставлення експериментальних досліджень зі складу газоподібних продуктів термічної деструкції зерна соняшника та досліджень з визначення значень мінімальної вогнегасної концентрації азоту, за якої припинялось горіння дають можливість обґрунтувати застосування азоту. На основі одержаних результатів досліджень щодо ліквідації азотом осередків пожежі зерна соняшника виявлені значення мінімальної вогнегасної концентрації, коли відбувається гасіння вогнища близько 33,7 об. %. При цьому припинення горіння зерна соняшника відбувається при зниженні концентрації кисню в газоповітряному середовищі близько 14 %. Практична цінність полягає у тому, що отримані результати визначення мінімальної вогнегасної концентрації азоту уможливають встановити умови експлуатації зернохосовищ при ліквідації осередків пожежі.

**Ключові слова:** зерно соняшника, осередок пожежі, кількість азоту, гасіння пожежі, концентрації кисню.