

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228561

A PROCEDURE TO FORECAST AND MANAGE WATER RESOURCES AND TO REDISTRIBUTE RUNOFF WATER FLOW WHEN PASSING FLOODS (p. 6–17)

Dmytro Olefir

PJSC Ukrhydroenergo, Vyshgorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1154-6127>

Anna Panasenko

PJSC Ukrhydroenergo, Vyshgorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3213-1198>

Economic losses from floods have become catastrophic due to the increase in the number and scale of their propagation. Existing procedures for passing floods and pre-preparing reservoirs for flood water acceptance are ineffective and need to be improved. Therefore, the task to devise a methodology that would eliminate these shortcomings was urgent.

This paper has proposed a procedure for calculating the passage of floods based on the forecasts of water inflow, taking into consideration the characteristics of the flood wave and the mode of reservoir filling, which makes it possible to bring down (reduce) the maximum flow rate through a waterworks by accumulating floodwaters in the reservoir.

The software package Mike 11 (Danish Institute, Denmark) was employed to build a hydrodynamic model of floodwater movement along the examined river section from a hydrological station to a waterworks, which makes it possible to determine the levels of water and the flow rate in a reservoir at any time in the form of free surface curves when passing floods of various range.

Based on the devised methodology, recommendations have been compiled for the forced discharges of water through hydroelectric turbines (in m³/s) when passing floods of various probabilities (which is especially important for floods whose probability is 0.01 %). The constructed hydrodynamic model of floodwater movement through a reservoir has allowed the verification of the devised procedure.

The procedure was devised in order to effectively pass floodwaters and bring down the maximum flow rate through a waterworks.

The introduction of the methodology for calculating the passage of floods could make it possible to avoid idle water discharge through the water drains of waterworks to the lower pool and provide for the most efficient utilization of floodwater resources.

Keywords: fluctuations in water levels, unsteady mode, water flow rate, efficient use of water resources, implicit boundary-difference flow scheme, MIKE 11.

Reference

- Dottori, F., Di Baldassarre, G., Todini, E. (2013). Detailed data is welcome, but with a pinch of salt: Accuracy, precision, and uncertainty in flood inundation modeling. *Water Resources Research*, 49 (9), 6079–6085. doi: <https://doi.org/10.1002/wrcr.20406>
- Song, X., Zhang, J., Zhan, C., Xuan, Y., Ye, M., Xu, C. (2015). Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications. *Journal of Hydrology*, 523, 739–757. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.013>
- Ward, P. J., Jongman, B., Salamon, P., Simpson, A., Bates, P., De Groeve, T. et. al. (2015). Usefulness and limitations of global flood risk models. *Nature Climate Change*, 5 (8), 712–715. doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate2742>
- Hall, J., Solomatine, D. (2008). A framework for uncertainty analysis in flood risk management decisions. *International Journal of River Basin Management*, 6 (2), 85–98. doi: <https://doi.org/10.1080/15715124.2008.9635339>
- Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., Ratto, M. (2004). *Sensitivity Analysis in Practice: A Guide to Assessing Scientific Models*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/0470870958>
- Mason, D. C., Bates, P. D., Dall' Amico, J. T. (2009). Calibration of uncertain flood inundation models using remotely sensed water levels. *Journal of Hydrology*, 368 (1-4), 224–236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.034>
- Hunter, N. M., Bates, P. D., Horritt, M. S., Wilson, M. D. (2007). Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology*, 90 (3-4), 208–225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.021>
- Mike 11. User manual and technical references (2016). DHI.
- Grushevskiy, M. S. (1996). Nekotorye voprosy gidravlicheskih raschetov dlya potokov v otkrytyh ruslah. *Trudy Akademii vodohozyaystvennyh nauk*, 3, 174–192.
- Park, K., Lee, M.-H. (2019). The Development and Application of the Urban Flood Risk Assessment Model for Reflecting upon Urban Planning Elements. *Water*, 11 (5), 920. doi: <https://doi.org/10.3390/w11050920>
- Loboda, N. S. (2011). Vliyanie izmeneniy klimata na vodnye resursy Ukrainy (modelirovanie i prognozy po dannym klimaticheskikh stsenarijev). *Global and regional climate changes*. Kyiv: Nika-Tsentr, 340–351.
- Klapoushchak, O. I. (2011). Suchasni prylady, materialy i tekhnolohiyi dlia neruiniivnoho kontroliu i tekhnichnoi diahnozyky mashynobudivnoho i naftohazopromyslovoho obladnannia. Suchasnyi stan kontroliu ta prohnozuvannia pavodkovykh vod: 6-ta Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya i vystavka. Ivano-Frankivsk, 209–214.
- Dellepiane, S., De Laurentiis, R., Giordano, F. (2004). Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of the coastline precision. *Pattern Recognition Letters*, 25 (13), 1461–1470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2004.05.022>
- Skakun, S. V. (2001). Neiromerezhevyi metod kartohrafuvannia povenei na osnovi sputnykovykh zobrazhen. *Naukovi pratsi Don-NTU*, 10 (153), 52–58.
- Stefanyshyn, D. V., Stefanydyna, Yu. D. (2005). Vykorystannia metodu ekstrapoliatsiy pry prohnozuvanni rivniv vody v ritsi, de vidbuvaetsia transformatsiia rusla, z vrakhuvanniam ryzyku. *Hidromeliioratsiia ta hidrotekhnichne budivnytstvo*, 30, 107–116.
- Alita, S. L. (2010). Metody resheniya zadach operativnogo prognoza livnevnykh pavodkov po dannym radiolokatsionnykh i nazemnykh izmerneniy osadkov. *Nal'chik*, 18.
- MIKE Powered by DHI. URL: <https://www.mikepoweredbydhi.com/>
- Vid pavodkiv zakarpattsiv zakhyshchatyme Berehivska polder-na systema. Available at: <http://www.mukachevo.net/ua/news/view/18099>
- Baseinove upravlinnia vodnykh resursiv richky Tysa. Available at: <https://buvrtyasa.gov.ua/newsite/>
- Komp'yuternoe modelirovanie rechnykh potokov. *Teoreticheskie osnovy* (2013). Moscow: Nauch. konsaltingovaya firma «Volga», 79.
- Dnistrovska HAES. Pravyta ekspluatatsiyi vodoshkovyshch Dnistrovskoho kaskadu HES ta HAES. *Hidrometrychni i hidrohrafichni roboty z utochnennia obsiahu dnistrovskoho ta buferneho vodoshkovyshch*

- hovyshch. Zakliuchnyi zvit, 732/MTsID-2-T113, PAT «Ukrhidroproekt» (2013). Kharkiv.
22. Kiselev, P. G. (1980). *Gidravlika. Osnovy mehaniki zhidkosti*. Moscow: Energiya, 360.
 23. *Pravila ekspluatatsii vodohranilisch Dnestrovskogo kompleksnogo gidrouzla*, 589-39-T36 (1987). Moscow.
 24. Khilchevskiy, V. K., Obodovskiy, O. H., Hrebin, V. V. et. al. (2008). *Zahalna hidrolohiya*. Kyiv: Vydavnychopolihrafichnyi tsentr «Kyivskiy universytet», 400.
 25. MIKE 11. *Komp'yuternoe modelirovanie sistem rek i kanalov. Kratkoe rukovodstvo pol'zovatelya* (2013). Moscow: Nauchnaya konsaltingovaya firma "Volga", 47.
 26. Krakovskaya, S. V., Palamarchuk, L. V., Shedemenko, I. P., Dyukel', G. A., Gnatyuk, N. V. (2010). *Chislennyi prognos regional'nogo klimata Ukrainy na osnove stsenariiev vozmoznykh global'nykh klimaticheskikh izmeneniy v XXI veke (Zaklyuchitel'nyy otchet)*. No. gos. registratsii 0108U007657.
 27. Snizhko, S., Kuprikov, I., Shevchenko, O. (2012). *Otsenka izmeneniya vodnogo stoka rek Ukrainy na osnove vodno-balansovykh modeley. Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya*, 2 (66), 157–161.
 28. Markus, M., Cai, X., Sriver, R. (2019). *Extreme Floods and Droughts under Future Climate Scenarios*. *Water*, 11 (8), 1720. doi: <https://doi.org/10.3390/w11081720>
 29. Albrecher, H., Kortschak, D., Prettenhaler, F. (2020). *Spatial Dependence Modeling of Flood Risk Using Max-Stable Processes: The Example of Austria*. *Water*, 12 (6), 1805. doi: <https://doi.org/10.3390/w12061805>
 30. Hudson, P., Botzen, W. J. W., Poussin, J., Aerts, J. C. J. H. (2017). *Impacts of Flooding and Flood Preparedness on Subjective Well-Being: A Monetisation of the Tangible and Intangible Impacts*. *Journal of Happiness Studies*, 20 (2), 665–682. doi: <https://doi.org/10.1007/s10902-017-9916-4>
 31. Gray, C., Kammer, F., Löffler, M., Silveira, R. I. (2012). *Removing local extrema from imprecise terrains*. *Computational Geometry*, 45 (7), 334–349. doi: <https://doi.org/10.1016/j.comgeo.2012.02.002>
 32. Kuhlicke, C., Seebauer, S., Hudson, P., Begg, C., Bubeck, P., Dittmer, C. et. al. (2020). *The behavioral turn in flood risk management, its assumptions and potential implications*. *WIREs Water*, 7 (3). doi: <https://doi.org/10.1002/wat2.1418>
 33. Larsen, M. A. D., Drews, M. (2019). *Water use in electricity generation for water-energy nexus analyses: The European case*. *Science of The Total Environment*, 651, 2044–2058. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.045>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229689

HYDROLOGICAL-STENOBIOTIC METHOD FOR DETERMINING ENVIRONMENTAL FLOWS FROM RESERVOIR (p. 18–26)

Yevhen Bezsonov

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5745-3121>

Liliia Muntian

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8456-4564>

Diana Krynsinska

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3117-6039>

In the practice of using river resources accumulated in reservoirs, there is a typical problem of unreasonably large water intake for industrial-household needs to the detriment of the aquatic ecosystem. An important tool for balancing these links is to provide

environmental flows based on a comprehensive analysis of river functioning patterns. And in terms of a progressing negative impact of reservoirs on the integrity of river ecosystems, the choice of indicator hydrobiota for the calculation of environmental flows should be considered insufficiently substantiated. The solution of this problem, by filling the appropriate methodological niche, allowed substantiating the hydrological-stenobiotic method for determining environmental flows. The developed solutions are based on the minimum possible values of tolerance of aquatic ecosystems stenobionts to water velocity. Five groups of macrozoobenthos represent relevant target organisms. The hydrological calculations presented in the paper are based on the data of daily water flow rate for 80 years and the results of field studies of the river channel depth in the low water period. On this basis, it was determined that for lowland parts of rivers, the flow velocity in the tailwater of reservoirs should be at least 0.2 m/s. Comparison of the curve of the average monthly water velocity dynamics of 95 % runoff availability with the minimum corresponding requirements of stenobionts allowed determining the most threatening period of the year for the aquatic ecosystem – summer low water. For a reservoir in the lowland parts of the river, based on the developed method, the calculations substantiate an increase in the minimum volume of environmental flows by 40 % relative to the current one. It is also estimated that the average annual and average second volumes of environmental flows should be about 38 % of the respective river runoff. The obtained results are close to those found on rivers in China, Iran and the United States in the framework of a comprehensive analysis of hydrological, hydraulic and hydrobiological parameters of the aquatic ecosystem.

Keywords: environmental flow, river channel reservoir, flow velocity, tailwater of reservoir, requirements of aquatic organisms.

References

1. Landau, Yu., Chornomorov, A. (2020). *Pivdennyi Buh: yak polipshyty vodozabezpechennia Mykolaivshchyny*. Uriadovyi kurier. Available at: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/pivdennij-bug-yak-polipshiti-vodozabezpechennya-mi/>
2. Panasyuk, I. V., Tomil'tseva, A. I., Zub, L. M. (2020). *Basic approaches to preparing of operating rules for lowland reservoirs of small HPPs in terms of compliance with environmental requirements*. *Hydroenerhetyka Ukrainy*, 3-4, 52–57. Available at: <https://uhe.gov.ua/sites/default/files/2020-12/15.pdf>
3. Rytvinski, T., Taylor, J. J., Bennett, J. R., Smokorowski, K. E., Cooke, S. J. (2017). *What are the impacts of flow regime changes on fish productivity in temperate regions? A systematic map protocol*. *Environmental Evidence*, 6 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0093-z>
4. Zeiringer, B., Seliger, C., Greimel, F., Schmutz, S. (2018). *River Hydrology, Flow Alteration, and Environmental Flow*. *Riverine Ecosystem Management*, 67–89. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73250-3_4
5. Winton, R. S., Calamita, E., Wehrli, B. (2019). *Reviews and syntheses: Dams, water quality and tropical reservoir stratification*. *Biogeosciences*, 16 (8), 1657–1671. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-16-1657-2019>
6. Arthington, A. H., Tharme, R. E., Brizga, S. O., Pusey, B. J., Kennard, M. J. (2003). *Environmental flow assessment with emphasis on holistic methodologies*. *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. Volume II. *Sustaining Livelihoods and Biodiversity in the New Millennium*. Available at: <http://www.fao.org/3/ad526e/ad526e07.htm#bm07>
7. Mulligan, M., van Soesbergen, A., Sáenz, L. (2020). *GOODD, a global dataset of more than 38,000 georeferenced dams*. *Scientific Data*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0362-5>
8. Tennant, D. L. (1976). *Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources*. *Fisheries*, 1 (4), 6–10.

- doi: [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1976\)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2.0.CO;2)
9. Yang, F., Xia, Z., Yu, L., Guo, L. (2012). Calculation and Analysis of the Instream Ecological Flow for the Irtysh River. *Procedia Engineering*, 28, 438–441. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.747>
 10. Stalnaker, C., Lamb, B. L., Henriksen, J., Bovee, K., Bartholow, J. (1995). Instream flow incremental methodology. A primer for IFIM. Biological Report No. 29. National Biological Service, 45. Available at: https://books.google.com.ua/books?id=rEyGMq8TJOcC&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
 11. Physical Habitat Simulation (PHABSIM) Software for Windows. U.S. Geological Survey. Available at: <https://www.usgs.gov/software/physical-habitat-simulation-phabsim-software-windows>
 12. DRIFT. Available at: <https://www.drift-eflows.com/about-drift/>
 13. Davis, R., Hirji, R. (2003). Water resources and environment technical note C.2. Washington. Available at: <https://iwlearn.net/resolveuid/7d6ea185fd753130f6558a39950d746b>
 14. Reil, A., Skoulikaris, Ch., Alexandridis, T. K., Roub, R. (2018). Evaluation of riverbed representation methods for one-dimensional flood hydraulics model. *Journal of Flood Risk Management*, 11 (2), 169–179. doi: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12304>
 15. *Ekologicheskie popuski* (2003). Publikatsii Treningovogo tsentra MKVK. Vypusk 1. Tashkent. Available at: http://www.cawater-info.net/library/rus/01_eco.pdf
 16. King, J. M., Tharme, R. E. (1994). Assessment of the Instream Flow Incremental Methodology, and initial development of alternative instream flow methodologies for South Africa. Water Research Commission, Report No. 295/1/94. Available at: <http://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/295-1-941.pdf>
 17. Minjian, C., Gaoxu, W., Huali, F., Liqun, W. (2012). The Calculation of River Ecological Flow for the Liao Basin in China. *Procedia Engineering*, 28, 715–722. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.796>
 18. Sun, T., Yang, Z.-F. (2005). Calculation of environmental flows in river reaches based on ecological objectives. *Huan Jing Ke Xue*, 26 (5), 43–48. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16366468/>
 19. Huang, S., Chang, J., Huang, Q., Wang, Y., Chen, Y. (2014). Calculation of the Instream Ecological Flow of the Wei River Based on Hydrological Variation. *Journal of Applied Mathematics*, 2014, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/127067>
 20. Tan, G., Yi, R., Chang, J., Shu, C., Yin, Z., Han, S. et. al. (2018). A new method for calculating ecological flow: Distribution flow method. *AIP Advances*, 8 (4), 045118. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5022048>
 21. Abdi, R., Yasi, M. (2015). Evaluation of environmental flow requirements using eco-hydrologic–hydraulic methods in perennial rivers. *Water Science and Technology*, 72 (3), 354–363. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2015.200>
 22. Global Environmental Flow Calculator. Available at: http://natural-resources-centralasia.org/assets/files/VALUES/ValueS_Method_Profile_Global_Flow_Calculator_EN.pdf
 23. IWM Environmental Flow Calculators. Available at: <https://www.iwmi.cgiar.org/resources/data-and-tools/models-and-software/environmental-flow-calculators/>
 24. Vasil'ev, Yu. S., Hrisanov, N. I. (1991). *Ekologiya ispol'zovaniya vozobnovlyayuschihsvya energoistochnikov*. Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta, 343.
 25. Jansson, R. (2006). The effect of dams on biodiversity. *Dams under Debate*. Swedish Research Council Formas, 77–84. Available at: https://www.researchgate.net/publication/265914243_The_effect_of_dams_on_biodiversity
 26. Chunyan, Q., Yong, Z., Haiyan, Y., Beixin, W. (2013). Concordance among different aquatic insect assemblages and the relative role of spatial and environmental variables. *Biodiversity Science*, 21 (3), 326–333. doi: <https://doi.org/10.3724/sp.j.1003.2013.08223>
 27. Bezsonov, Y., Andreev, V., Smyrnov, V. (2016). Assessment of safety index for water ecological system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (84)), 24–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.86170>
 28. Dolédec, S., Lamouroux, N., Fuchs, U., Méricoux, S. (2007). Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European streams. *Freshwater Biology*, 52 (1), 145–164. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01663.x>
 29. Holt, E. A., Miller, S. W. (2010). Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge*, 3 (10), 8. Available at: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>
 30. Hoover, T. M., Richardson, J. S. (2009). Does water velocity influence optimal escape behaviors in stream insects? *Behavioral Ecology*, 21 (2), 242–249. doi: <https://doi.org/10.1093/beheco/arp182>
 31. Vilenica, M., Mičetić Stanković, V., Sartori, M., Kučinić, M., Mihaljević, Z. (2017). Environmental factors affecting mayfly assemblages in tufa-depositing habitats of the Dinaric Karst. *Knowledge & Management of Aquatic Ecosystems*, 418, 14. doi: <https://doi.org/10.1051/kmae/2017005>
 32. Jacobus, L. M., Macadam, C. R., Sartori, M. (2019). Mayflies (Ephemeroptera) and Their Contributions to Ecosystem Services. *Insects*, 10 (6), 170. doi: <https://doi.org/10.3390/insects10060170>
 33. Bouchard, R. W. Jr. (2004). Guide to aquatic macroinvertebrates of the Upper Midwest. Water Resources Center, University of Minnesota, 208. Available at: <https://dep.wv.gov/WWE/getinvolved/sos/Documents/Benthic/UMW/Ephemeroptera.pdf>
 34. Aquatic Benthic Macroinvertebrates As Water Quality Indicators. Available at: <https://www.wpwa.org/documents/education/Biological%20sampling.pdf>
 35. Bubnov, A. G. et. al.; Grinevich, V. I. (Ed.) (2007). *Biotestoviy analiz – integral'niy metod otsenki kachestva obektov okruzhayushchey sredy*. Ivanovo, 112.
 36. Garbe, J., Beevers, L., Pender, G. (2016). The interaction of low flow conditions and spawning brown trout (*Salmo trutta*) habitat availability. *Ecological Engineering*, 88, 53–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.011>
 37. Life in freshwater stream - Mayfly Nymphs (2014). Available at: http://ifieldstudy.net/sns/outstanding_reports/2014/files/team25.pdf
 38. Hall, T. J. (1980). Influence of wing dam notching on aquatic macroinvertebrates in Pool 13, upper Mississippi River: the prenotching study. Wisconsin, 168. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA096633.pdf>
 39. Marden, J. H., Thomas, M. A. (2003). Rowing locomotion by a stonefly that possesses the ancestral pterygote condition of co-occurring wings and abdominal gills. *Biological Journal of the Linnean Society*, 79 (2), 341–349. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1095-8312.2003.00192.x>
 40. Khazeyeva, L. A. (2007). Description of the larva of a stonefly from the family Chloroperlidae, genus *Chloroperla* Newman, 1836 of the northern slopes of the Central Caucasus region. *Questions of Aquatic Entomology of Russia and Adjacent Lands: Third All-Russia Symposium on Amphibiotic and Aquatic Insects*. Voronezh, 356–358. Available at: https://www.zin.ru/animalia/coleoptera/pdf/third_all_russia_symposium.pdf
 41. Collier, K. (1993). Flow preferences of aquatic invertebrates in the Tongariro River (Part 2 of 5). Wellington. Available at: <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/sr60a.pdf>
 42. De Brouwer, J. H. F., Besse-Lototskaya, A. A., ter Braak, C. J. F., Kraak, M. H. S., Verdonchot, P. F. M. (2016). Flow velocity tolerance of lowland stream caddisfly larvae (Trichoptera). *Aquatic Sci-*

- ences, 79 (3), 419–425. doi: <https://doi.org/10.1007/s00027-016-0507-y>
43. Franken, R., Batten, S., Beijer, J., Gardeniers, J., Scheffer, M., Peeters, E. (2006). Effects of interstitial refugia and current velocity on growth of the amphipod *Gammarus pulex* Linnaeus. *Journal of the North American Benthological Society*, 25 (3), 656–663. doi: [https://doi.org/10.1899/0887-3593\(2006\)25\[656:eoirac\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1899/0887-3593(2006)25[656:eoirac]2.0.co;2)
 44. Han, J., Lee, D., Lee, S., Chung, S.-W., Kim, S., Park, M. et. al. (2019). Evaluation of the Effect of Channel Geometry on Streamflow and Water Quality Modeling and Modification of Channel Geometry Module in SWAT: A Case Study of the Andong Dam Watershed. *Water*, 11 (4), 718. doi: <https://doi.org/10.3390/w11040718>
 45. Kiselev, P. G. (Ed.) (1972). *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam*. Moscow: «Energiya», 312.
 46. Arthington, A. H., Bhaduri, A., Bunn, S. E., Jackson, S. E., Tharme, R. E., Tickner, D. et. al. (2018). The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows (2018). *Frontiers in Environmental Science*, 6. doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>
 47. Guidelines for Determination of Environmental Flows (e-flows) for Development Projects that Result in Impounding of Water in Streams/ Rivers (2018). Central Environmental Authority. Ministry of Mahaweli Development and Environmental. Available at: http://203.115.26.10/2018/EIA_PUB/e-flow.pdf
 48. Vodohospodarska situatsiya v baseini richky Pivdennyi Buh u 2017 rotsi. Available at: <https://mk-vodres.davr.gov.ua/node/1148>
 49. Bezsonov, Ye. M.; Malovanyi, M. S. (Ed.) (2020). *Ekoloho-ekonomichni naslidky vid ruslovykh vodoshkovyshch: vitchyznianiya ta mizhnarodnyi dosvid. Rozdil 1 «Ekolohichni aspekty zberezhenia bioriznomanittia, monitorynh, audyt, systemnyi analiz ta otsinka ryzyku, vidnovliualni dzherela enerhiyi»*. Collective monograph «Sustainable Development: Environmental Protection. Energy Saving. Sustainable Environmental Management». Lviv, 184–214. doi: <https://doi.org/10.23939/book.ecocongress.2020>
 50. Khilchevskiy, V. K., Chunarov, O. V., Romas, M. I. et. al.; Khilchevskiy, V. K. (Ed.) (2009). *Vodni resursy ta yakist richkovykh vod baseinu Pivdennoho Buhu*. Kyiv: Nika tsentr, 184. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Valentyn_Khilchevskiy/publication/316822383_Water_resources_and_quality_of_river_waters_of_basin_of_South_Bug_Vodni_resursi_ta_akist_rickovih_vod_basejnu_Pivdennoho_Bugu/links/591291e2a6fdcc963e7cf258/Water-resources-and-quality-of-river-waters-of-basin-of-South-Bug-Vodni-resursi-ta-akist-rickovih-vod-basejnu-Pivdennoho-Bugu.pdf
 51. Lyashenko, A., Slepnev, O., Makovsky, V., Sytnyk, Y., Grigorenko, T. (2018). Macrozoobenthos of water objects affected by the South-Ukrainian electric power-producing complex. *Fisheries Science of Ukraine*, 2, 43–58. doi: <https://doi.org/10.15407/fsu2018.02.043>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230238
CONSTRUCTING A MATHEMATICAL MODEL AND STUDYING NUMERICALLY THE EFFECT OF BIO-CLOGGING ON SOIL FILTRATION CONSOLIDATION (p. 27–34)

Natalia Ivanchuk

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6824-9406>

Petro Martyniuk

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2750-2508>

Olga Michuta

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8969-6897>

Yevhenii Malanchuk

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9352-4548>

Hanna Shlikhta

Rivne State University of the Humanities, Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7184-1822>

Mathematical modeling and computer simulation methods have been used to investigate the extent of influence exerted by bio-clogging on the dynamics of excess head scattering in the soil massif. To this end, the classical equation of filtration consolidation has been modified for the case of variable porosity resulting from changes in the biomass. The numerical solution to the constructed mathematical model in the form of a nonlinear boundary problem was derived by a finite-element method. Numerical experiments were carried out and their analysis was performed. Specifically, this paper shows the charts of pressure differences in the soil array when neglecting bio-clogging and when estimating the effects exerted by bio-clogging at specific points in time. The numerical experiments demonstrated that in two years after the onset of the consolidation process in the neighborhood of the lower limit of the examined soil mass with a thickness of 10 meters, excess heads fall from the initial value of 10 m to 4 m. The greatest impact from the clogging of pores by microorganisms is revealed in the neighborhood of an upper limit. At a depth of 1 m, at $t=180$ days, the pressure difference reaches 2.4 m. This is about 200 % of the pressure distribution without taking into account the effects of bio-clogging. Over time, the effect of bacteria on the distribution of pressures in the neighborhood of the upper boundary decreases. However, this effect extends to the entire soil mass, up to the lower limit. Thus, at $t=540$ days, at the lower limit, the effect of bio-clogging leads to that excess heads are 1.8 m greater than for the case of pure water filtration (a relative increase of about 80 %).

Bio-clogging processes are intensified as a result of the development of microorganisms when organic chemicals enter the porous environment. Therefore, from a practical point of view, studying them is especially relevant for household waste storage facilities and the stability of their soil bases. It is advisable to undertake research by using the methods of mathematical modeling and computer simulation.

Keywords: excess heads, bio-clogging, organic waste, finite element method, filtration consolidation.

References

1. Zaretskii, Yu. K. (1972). *Theory of soil consolidation*. Israel Program for Scientific Translation.
2. DBN V.2.4-3:2010 (2010). *Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Hidrotekhnichni, enerhetychni ta melioratyvni systemy i sporudy, pidzemni hirnychi vyrobky. Hidrolohichni sporudy. Osnovni polozhennia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. Available at: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-802>
3. DBN V.2.1-10-2009 (2009). *Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Obiekty budivnytstva ta promyslova produktsiya budivlenoho pryznachennia. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. Available at: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v21_10_2009/1-1-0-319
4. Park, S., Hong, S. (2021). Nonlinear Modeling of Subsidence From a Decade of InSAR Time Series. *Geophysical Research Letters*, 48 (3). doi: <http://doi.org/10.1029/2020gl090970>

5. Widada, S., Zainuri, M., Yulianto, G., Satriadi, A., Wijaya, Y. (2020). Estimation of Land Subsidence Using Sentinel Image Analysis and Its Relation to Subsurface Lithology Based on Resistivity Data in the Coastal Area of Semarang City, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*, 21 (8), 47–56. doi: <http://doi.org/10.12911/22998993/127394>
6. Knabe, D., Kludt, C., Jacques, D., Lichtner, P., Engelhardt, I. (2018). Development of a Fully Coupled Biogeochemical Reactive Transport Model to Simulate Microbial Oxidation of Organic Carbon and Pyrite Under Nitrate-Reducing Conditions. *Water Resources Research*, 54 (11), 9264–9286. doi: <http://doi.org/10.1029/2018wr023202>
7. Moshynsky, V., Riabova, O. (2013). Approaches to Aquatic Ecosystems Organic Energy Assessment and Modelling. Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, 125–135. doi: http://doi.org/10.1007/978-94-007-6152-0_12
8. Michuta, O. R., Vlasyuk, A. P., Martynyuk, P. N. (2013). Influence of chemical erosion on filtration consolidation of saline soils in nonisothermal conditions. *Matematicheskoe modelirovanie*, 25 (2), 3–18. Available at: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=mm&paperid=3327&option_lang=rus
9. Gui, R., Pan, Y., Ding, D., Liu, Y., Zhang, Z. (2018). Experimental Study on Bioclogging in Porous Media during the Radioactive Effluent Percolation. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–6. doi: <http://doi.org/10.1155/2018/9671371>
10. Wang, Y., Huo, M., Li, Q., Fan, W., Yang, J., Cui, X. (2018). Comparison of clogging induced by organic and inorganic suspended particles in a porous medium: implications for choosing physical clogging indicators. *Journal of Soils and Sediments*, 18 (9), 2980–2994. doi: <http://doi.org/10.1007/s11368-018-1967-6>
11. Thullner, M., Regnier, P. (2019). Microbial Controls on the Biogeochemical Dynamics in the Subsurface. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 85 (1), 265–302. doi: <http://doi.org/10.2138/rmg.2019.85.9>
12. Glatstein, D. A., Montoro, M. A., Carro Pérez, M. E., Francisca, F. M. (2017). Hydraulic, Chemical and Biological Coupling on Heavy Metals Transport Through Landfills Liners. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 43 (3), 261–269. doi: <http://doi.org/10.5276/jswt.2017.261>
13. Mohanadhas, B., Kumar, G. S. (2019). Numerical Experiments on Fate and Transport of Benzene with Biological Clogging in Vadoze Zone. *Environmental Processes*, 6 (4), 841–858. doi: <http://doi.org/10.1007/s40710-019-00402-w>
14. Lopez-Peña, L. A., Meulenbroek, B., Vermolen, F. (2019). A network model for the biofilm growth in porous media and its effects on permeability and porosity. *Computing and Visualization in Science*, 21 (1-6), 11–22. doi: <http://doi.org/10.1007/s00791-019-00316-y>
15. Bohaienko, V., Bulavatsky, V. (2020). Fractional-Fractal Modeling of Filtration-Consolidation Processes in Saline Saturated Soils. *Fractal and Fractional*, 4 (4), 59. doi: <http://doi.org/10.3390/fractalfract4040059>
16. Józefiak, K., Zbiciak, A., Brzeziński, K., Maślakowski, M. (2021). A Novel Approach to the Analysis of the Soil Consolidation Problem by Using Non-Classical Rheological Schemes. *Applied Sciences*, 11 (5), 1980. doi: <http://doi.org/10.3390/app11051980>
17. Tian, Y., Wu, W., Jiang, G., El Naggar, M. H., Mei, G., Xu, M., Liang, R. (2020). One-dimensional consolidation of soil under multistage load based on continuous drainage boundary. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 44 (8), 1170–1183. doi: <http://doi.org/10.1002/nag.3055>
18. Vlasyuk, A. P., Martynyuk, P. M. (2010). Numerical solution of three-dimensional problems of filtration consolidation with regard for the influence of technogenic factors by the method of radial basis functions. *Journal of Mathematical Sciences*, 171 (5), 632–648. doi: <http://doi.org/10.1007/s10958-010-0163-z>
19. Vlasyuk, A. P., Martynyuk, P. M., Fursovych, O. R. (2009). Numerical solution of a one-dimensional problem of filtration consolidation of saline soils in a nonisothermal regime. *Journal of Mathematical Sciences*, 160 (4), 525–535. doi: <http://doi.org/10.1007/s10958-009-9518-8>
20. Glatstein, D. A., Francisca, F. M. (2014). Hydraulic conductivity of compacted soils controlled by microbial activity. *Environmental Technology*, 35 (15), 1886–1892. doi: <http://doi.org/10.1080/09593330.2014.885583>
21. Tang, Q., Gu, F., Zhang, Y., Zhang, Y., Mo, J. (2018). Impact of biological clogging on the barrier performance of landfill liners. *Journal of Environmental Management*, 222, 44–53. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.039>
22. Ulyanchuk-Martyniuk, O., Michuta, O., Ivanchuk, N. (2020). Biocolmation and the finite element modeling of its influence on changes in the head drop in a geobarrier. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (106)), 18–26. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.210044>
23. Gerus, V. A., Martyniuk, P. M. (2015). Generalization of the soil consolidation equation taking into account the influence of physicochemical factors. *Bulletin of VN Karazin Kharkiv National University. Series: Mathematical modeling. Information Technology. Automated control systems*, 27, 41–52. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhIMAM_2015_27_7
24. Bulavatsky, V. M., Bohaienko, V. O. (2020). Some Consolidation Dynamics Problems within the Framework of the Biparabolic Mathematical Model and its Fractional-Differential Analog. *Cybernetics and Systems Analysis*, 56 (5), 770–783. doi: <http://doi.org/10.1007/s10559-020-00298-7>
25. Wang, H.-X., Xu, W., Zhang, Y.-Y., Sun, D.-A. (2021). Simplified solution to one-dimensional consolidation with threshold gradient. *Computers and Geotechnics*, 131, 103943. doi: <http://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103943>
26. Araujo, F., Fantucci, H., Nunes, E., Santos, R. M. (2020). Geochemical Modeling Applied in Waste Disposal, and Its Relevance for Municipal Solid Waste Management. *Minerals*, 10 (10), 846. doi: <http://doi.org/10.3390/min10100846>
27. Rodrigo-Ilarri, J., Rodrigo-Clavero, M.-E., Cassiraga, E. (2020). BIOLEACH: A New Decision Support Model for the Real-Time Management of Municipal Solid Waste Bioreactor Landfills. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (5), 1675. doi: <http://doi.org/10.3390/ijerph17051675>
28. Sergienko, I. V., Skopetskiy, V. V., Deyneka, V. S. (1991). *Matematicheskoe modelirovanie i issledovanie protsessov v neodnorodnykh sredakh*. Kyiv: Naukova dumka, 432.
29. Ulianchuk-Martyniuk, O. V. (2020). Numerical simulation of the effect of semipermeable properties of clay on the value of concentration jumps of contaminants in a thin geochemical barrier. *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*, 8 (1), 91–104. doi: <http://doi.org/10.32523/2306-6172-2020-8-1-91-104>
30. Šimůnek, J., van Genuchten, M. T., Šejna, M. (2016). Recent Developments and Applications of the HYDRUS Computer Software Packages. *Vadose Zone Journal*, 15 (7). doi: <http://doi.org/10.2136/vzj2016.04.0033>
31. Clement, T. P., Hooker, B. S., Skeen, R. S. (1996). Macroscopic Models for Predicting Changes in Saturated Porous Media Properties Caused by Microbial Growth. *Ground Water*, 34 (5), 934–942. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1996.tb02088.x>
32. Manfred, B., Jaap, B., Klaus, M., Rolf, M. (2006). Enumeration and Biovolume Determination of Microbial Cells. *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. CABI Publishing, 93–113. doi: <https://doi.org/10.1079/9780851990989.0093>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230216
DEVELOPMENT OF IRON-CONTAINING SORPTION
MATERIALS FOR WATER PURIFICATION FROM
ARSENIC COMPOUNDS (p. 35–42)

Marta Litynska

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7014-493X>

Tetiana Dontsova

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8189-8665>

Olena Yanushevska

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3457-8965>

Volodymyr Tarabaka

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3642-3665>

The paper is devoted to the development of a method for obtaining and using iron-containing sorption materials for the effective removal of arsenic compounds of different oxidation states from an aqueous medium. It is known that arsenic compounds have a harmful effect on biota due to high toxicity. The paper theoretically and experimentally substantiates the choice of iron-containing materials as the main sorbent material for arsenic compounds removal from the aqueous medium. A series of iron-containing adsorbents, including powder, activated carbon-based granular and suspension sorbents, was synthesized by different methods (heterogeneous and homogeneous precipitation). Experimental studies have confirmed that the adsorption of arsenate ions on iron-containing sorption materials corresponds to the pseudo-second order of the reaction ($R^2=0.999$), which is inherent in adsorption processes. It was determined that oxyhydroxide sorption materials obtained by the homogeneous precipitation demonstrate higher sorption activity (up to 70 mg/g for As(III) and over 70 mg/g for As(V)). It was found that activated carbon-based iron-containing sorption materials showed approximately 2 times lower efficiency than powder iron(III) oxide, iron(III) oxyhydroxide and amorphous iron(III) hydroxide. It was shown that the use of microfiltration membranes is promising for the removal of spent suspension iron-containing sorption materials. Experimental studies have confirmed that the use of the combination “fine-particle iron(III) oxyhydroxide/membrane” allows removing arsenic compounds from contaminated water to the sanitary requirements level (less than 10 µg As/l) and separating effectively the spent fine-particle sorbent from water.

Keywords: sorption-membrane treatment method, arsenic compounds, suspension adsorbents, iron-containing sorption materials.

References

- Litynska, M., Astrelin, I., Tolstopalova, N. (2016). Pollution of natural waters by arsenic compounds: causes and perspective solutions of the problem. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 1 (18), 13–22.
- Choong, T. S. Y., Chuah, T. G., Robiah, Y., Gregory Koay, F. L., Azni, I. (2007). Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination*, 217 (1-3), 139–166. doi: <http://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.015>
- Paparyha, P. S. (2012). Trace elements in drinking water of Rakhiv-Tysynsk tectonic zone and their impact on public health. *Geochemistry and ore formation*, 31-32, 159–163. doi: <http://doi.org/10.15407/gof.2012.31.159>
- Smedley, P. L., Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17 (5), 517–568. doi: [http://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00018-5](http://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00018-5)
- Litynska, M. I., Tolstopalova, N. M., Astrelin, I. M., Petrus, N. V. (2019). Influence of foreign ions on the adsorption of arsenate on iron(III) oxides and hydroxides. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 3, 22–29. doi: <http://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-22-29>
- Plourde-Lescelleur, F., Papineau, I., Carrière, A., Gadbois, A., Barbeau, B. (2014). NOM removal: evaluating five process alternatives to alum coagulation. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 64 (3), 278–289. doi: <http://doi.org/10.2166/aqua.2014.090>
- Litynska, M., Dontsova, T. (2020). Suspension sorbents for removal of arsenic compounds and humates from water. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 28 (3), 14–25. doi: <http://doi.org/10.20535/wptstn.v28i3.218046>
- Tessema, D. A., Kosmus, W. (2001). Influence of humic and low molecular weight polycarboxylic acids on the release of arsenic from soils. *Journal of Trace and Microprobe Techniques*, 19 (2), 267–278. doi: <http://doi.org/10.1081/tma-100002216>
- Mukhopadhyay, D., Sanyal, S. K. (2004). Complexation and release isotherm of arsenic in arsenic-humic/fulvic equilibrium study. *Soil Research*, 42 (7), 815–824. doi: <http://doi.org/10.1071/sr03104>
- Amini, M., Abbaspour, K. C., Berg, M., Winkel, L., Hug, S. J., Hoehn, E. et. al. (2008). Statistical Modeling of Global Geogenic Arsenic Contamination in Groundwater. *Environmental Science Technology*, 42 (10), 3669–3675. doi: <http://doi.org/10.1021/es702859e>
- Maletskyi, Z., Mitchenko, T., Makarova, N., Shevchuk, H., Koloмиets, E. (2012). Comparative assessment of sorption properties of commercially available and experimental hybrid materials aimed to impurities of As(III) and As(V) in water. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 1 (7), 21–30. doi: <http://doi.org/10.20535/2218-9300712012138925>
- Yarotskiy, L. A. (Ed.). (1973). *Myshyak-soderzhaschie mineralnye vody SSSR*. Moscow, 574.
- Vaclavikova, M., Gallios, G. P., Hredzak, S., Jakabsky, S. (2007). Removal of arsenic from water streams: an overview of available techniques. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 10 (1), 89–95. doi: <http://doi.org/10.1007/s10098-007-0098-3>
- Litter, M. I., Morgada, M. E., Bundschuh, J. (2010). Possible treatments for arsenic removal in Latin American waters for human consumption. *Environmental Pollution*, 158 (5), 1105–1118. doi: <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.01.028>
- Malik, A. H., Khan, Z. M., Mahmood, Q., Nasreen, S., Bhatti, Z. A. (2009). Perspectives of low cost arsenic remediation of drinking water in Pakistan and other countries. *Journal of Hazardous Materials*, 168 (1), 1–12. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.02.031>
- Hashim, M. A., Kundu, A., Mukherjee, S., Ng, Y.-S., Mukhopadhyay, S., Redzwan, G., Sen Gupta, B. (2019). Arsenic removal by adsorption on activated carbon in a rotating packed bed. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100591. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.03.006>
- Mykhailenko, N. O., Makarchuk, O. V., Dontsova, T. A., Horobets, S. V., Astrelin, I. M. (2015). Purification of aqueous media by magnetically operated saponite sorbents. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (76)), 13–20. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.46573>
- Maltseva, T. V., Koloмиets, E. A., Vasilyuk, S. L. (2017). Gibridnye adsorbenty na osnove gidratirovannykh oksidov Zr(IV), Ti(IV), Sn(IV), Fe(III) dlya udaleniya myshyaka. *Khimiya i tekhnologiya vody*, 39 (4 (258)), 386–396.
- Chang, F., Qu, J., Liu, R., Zhao, X., Lei, P. (2010). Practical performance and its efficiency of arsenic removal from groundwater using Fe-Mn binary oxide. *Journal of Environmental Sciences*, 22 (1), 1–6. doi: [http://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60067-X](http://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60067-X)

20. Brion-Roby, R., Gagnon, J., Deschênes, J.-S., Chabot, B. (2017). Development and treatment procedure of arsenic-contaminated water using a new and green chitosan sorbent: kinetic, isotherm, thermodynamic and dynamic studies. *Pure and Applied Chemistry*, 90 (1), 63–77. doi: <http://doi.org/10.1515/pac-2017-0305>
21. Soni, R., Shukla, D. P. (2019). Synthesis of fly ash based zeolite-reduced graphene oxide composite and its evaluation as an adsorbent for arsenic removal. *Chemosphere*, 219, 504–509. doi: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.203>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226692

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF OPERATIONAL FORECASTING OF FIRE IN THE PREMISES OF OBJECTS UNDER REAL CONDITIONS (p. 43–50)

Boris Pospelov

Scientific-methodical Center of Educational Institutions in the Sphere of Civil Defence, Kharkiv, Ukraine

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

Vladimir Andronov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7486-482X>

Evgeniy Rybka

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

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

Mikhail Samoilov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8924-7944>

Olekciï Krainiukov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>

Igor Biryukov

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5732-4087>

Tetiana Butenko

Scientific-methodical Center of Educational Institutions in the Sphere of Civil Defence, Kharkiv, Ukraine

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

Yuliia Bezuhla

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

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

Kostiantyn Karpets

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6388-7647>

Eduard Kochanov

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8443-4054>

A method for operational forecasting of fires is proposed that enables the sequential implementation of five procedures. The method development is necessary to predict early fires in premises in order to take measures to prevent them from escalating into an uncontrolled combustion phase – a fire. As a result of research, it was found that a short-term forecast of the recurrence of increments of the air conditions by one step, based on the current measure of recurrence, is an effective indicator of early fires in premises. At the same time, it was found that before the moment of ignition of the material, the state of the air environment is characterized by dynamic stability, which is described by an irregular and time-dependent random change in the recurrence of the states of the vector of current increments of the state of the air environment. The values of the indicated levels of recurrence of the state increments are determined by the probability levels of 0.67 and

0.1, respectively. The probability of recurrence of state increments of 0.67 is characteristic of a larger number of measured states. When the material is ignited, the dynamics of the probability of recurrence of state increments change abruptly. There is a transition from two to one level of recurrence, close to zero probability – the loss of dynamic stability (in the region of count 250). Further dynamics are characterized by the appearance of separate random recurrent increments corresponding to the instability of the air environment in the premises. In the course of the experiment, it was found that the accuracy of predicting a fire by the proposed method ranges from 4.48 % to 12.79 %, which generally indicates its efficiency. The obtained data prove useful in the development of new systems that early warn of fire in premises, as well as in the modernization of existing systems and means of fire protection of premises.

Keywords: fire forecasting, indoor ignition, measure of recurrence, increment of states, air environment.

References

- Brushlinsky, N. N., Ahrens, M., Sokolov, S. V., Wagner, P. (2019). World Fire Statistics. Report No. 24. Center of Fire Statistics of CTIF. Available at: https://ctif.org/sites/default/files/2019-04/CTIF_Report24_ERG.pdf
- Kustov, M., Kalugin, V., Tutunik, V., Tarakhno, O. (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>
- 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>
- 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>
- Vambol, S., Vambol, V., Sobyňa, 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), 186–195. doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i4.3893>
- Semko, A., Beskrovnaya, M., Vinogradov, S., Hritsina, I., Yagudina, N. (2017). The usage of high speed impulse liquid jets for putting out gas blowouts. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3, 655–664.
- Ragimov, S., Sobyňa, 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>
- 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>
- 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 Paper*, 37 (1), 63–77.
- Loboichenko, V. M., Vasyukov, A. E., Tishakova, T. S. (2017). Investigations of Mineralization of Water Bodies on the Example of River Waters of Ukraine. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 14 (4), 37–41. doi: <https://doi.org/10.3233/ajw-170035>
- Fire Loss in the United States During 2019 (2020). National Fire Protection Association, 11. Available at: [https://www.nfpa.org/~media/fd0144a044c84fc5baf90c05c04890b7.ashx](https://www.nfpa.org/~/media/fd0144a044c84fc5baf90c05c04890b7.ashx)

12. Koshmarov, Yu. A., Puzach, S. V., Andreev, V. V. et. al. (2012). Prognozirovanie opasnykh faktorov pozhara v pomeschenii. Moscow: Akademiya GPS MCHS Rossii, 126.
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, 012065. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012065>
14. 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>
15. Pospelov, B., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Karpets, K., Petukhova, O., Bezuhla, Y. et. al. (2020). A method for preventing the emergency resulting from fires in the premises through operative control over a gas medium. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (10 (103)), 6–13. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.194009>
16. Ahn, C.-S., Kim, J.-Y. (2011). A study for a fire spread mechanism of residential buildings with numerical modeling. Safety and Security Engineering IV, 117, 185–196. doi: <https://doi.org/10.2495/safe110171>
17. Webber, C. L., Ioana, C., Marwan, N. (Eds.) (2016). Recurrence Plots and Their Quantifications: Expanding Horizons. Springer Proceedings in Physics. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29922-8>
18. 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>
19. Turcotte, D. L. (1997). Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174695>
20. Poulsen, A., Jomaas, G. (2011). Experimental Study on the Burning Behavior of Pool Fires in Rooms with Different Wall Linings. Fire Technology, 48 (2), 419–439. doi: <https://doi.org/10.1007/s10694-011-0230-0>
21. Zhang, D., Xue, W. (2010). Effect of heat radiation on combustion heat release rate of larch. Journal of West China Forestry Science, 39, 148.
22. 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.
23. Peng, X., Liu, S., Lu, G. (2005). Experimental analysis on heat release rate of materials. Journal of Chongqing University, 28, 122.
24. 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>
25. 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>
26. 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>
27. 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>
28. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Gornostal, S., Shcherbak, S. (2017). Results of experimental research into correlations between hazardous factors of ignition of materials in premises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (10 (90)), 50–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.117789>
29. Bendat, J. S., Piersol, A. G. (2010). Random data: analysis and measurement procedures. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118032428>
30. Shafi, I., Ahmad, J., Shah, S. I., Kashif, F. M. (2009). Techniques to Obtain Good Resolution and Concentrated Time-Frequency Distributions: A Review. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2009 (1). doi: <https://doi.org/10.1155/2009/673539>
31. Singh, P. (2016). Time-frequency analysis via the fourier representation. HAL. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01303330/document>
32. Pretrel, H., Querre, P., Forestier, M. (2005). Experimental Study Of Burning Rate Behaviour In Confined And Ventilated Fire Compartments. Fire Safety Science, 8, 1217–1228. doi: <https://doi.org/10.3801/iafss.fss.8-1217>
33. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Romin, A. (2018). Experimental study of the fluctuations of gas medium parameters as early signs of fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (10 (91)), 50–55. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122419>
34. Stankovic, L., Dakovic, M., Thayaparan, T. (2014). Time-frequency signal analysis with Applications. Kindle edition, Amazon, 655.
35. Avargel, Y., Cohen, I. (2010). Modeling and Identification of Nonlinear Systems in the Short-Time Fourier Transform Domain. IEEE Transactions on Signal Processing, 58 (1), 291–304. doi: <https://doi.org/10.1109/tsp.2009.2028978>
36. Giv, H. H. (2013). Directional short-time Fourier transform. Journal of Mathematical Analysis and Applications, 399 (1), 100–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmaa.2012.09.053>
37. Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Popov, V., Semkiv, O. (2018). Development of the method of frequencytemporal representation of fluctuations of gaseous medium parameters at fire. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (10 (92)), 44–49. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.125926>
38. Mandel'brot, B. (2002). Fraktal'naya geometriya prirody. Moscow: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 656.
39. Marwan, N. (2011). How to avoid potential pitfalls in recurrence plot based data analysis. International Journal of Bifurcation and Chaos, 21(04), 1003–1017. doi: <https://doi.org/10.1142/s0218127411029008>
40. Marwan, N., Webber, C. L., Macau, E. E. N., Viana, R. L. (2018). Introduction to focus issue: Recurrence quantification analysis for understanding complex systems. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 28 (8), 085601. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5050929>
41. Webber, Jr. C. L., Zbilut, J. P. (2005). Chap. 2. Recurrence quantification analysis of nonlinear dynamical systems. Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences, 26–94. Available at: <https://www.nsf.gov/pubs/2005/nsf05057/nmbs/nmbs.pdf>
42. 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>
43. 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>
44. 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>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229458

REGULARITIES IN THE WASHING OUT OF WATER-SOLUBLE PHOSPHORUS-AMMONIUM SALTS FROM THE FIRE-PROTECTIVE COATINGS OF TIMBER THROUGH A POLYURETHANE SHELL (p. 51–58)**Tsapko Yuriy**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>**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>**Vasyl Lomaha**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0569-9987>**Aleksii Tsapko**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>

The analysis of fire-protective materials for wooden building structures was carried out and the need to develop reliable methods for studying the process of washing out fire retardants from the surface of the building structure, which is necessary for the creation of new types of fire-protective materials, was established. That is why there arises a need to determine the conditions for the formation of a barrier for washing out and to establish a mechanism for inhibition of moisture transmission to the material. In this regard, a mathematical model was built of washing out fire retardants using a polymeric shell made of organic material as a coating, which makes it possible to estimate the effectiveness of a polymer shell by the amount of the washed-out fire retardant. According to the experimental data and theoretical dependences, the dynamics of the release of fire retardants from the fire-protective layer of the coating was calculated; it did not exceed 1.0%, and therefore, ensures fire protection of timber. The results of determining the weight loss of the sample under the influence of water indicate the ambiguous impact of the nature of protection on the washout. In particular, this implies the availability of data sufficient for performing a high-quality process of moisture diffusion inhibition and, based on it, detection of the moment, from which a decrease in efficiency of a coating begins. The experimental studies proved that a sample of fire-protected timber after exposure to water for 30 days withstood the influence of a heat flow. In particular, the loss of timber weight after the temperature exposure was less than 6%, and the temperature of flue gases did not exceed 185 °C. Thus, there is a reason to assert the possibility of directed control of the processes of fire protection of timber through the use of polymer coatings capable of forming a protective layer on the surface of fire-protected material, which inhibits the rate of washing out the fire retardants.

Keywords: protective equipment, weight loss, treatment of timber surface, washing out a fire retardant, polymer shell.

References

1. Krüger, S., Gluth, G. J. G., Watolla, M.-B., Morys, M., Häfler, D., Scharrel, B. (2016). Neue Wege: Reaktive Brandschutzbeschichtungen für Extrembedingungen. *Bautechnik*, 93 (8), 531–542. doi: <https://doi.org/10.1002/bate.201600032>
2. Zhou, Z., Du, C., Yu, H., Yao, X., Huang, Q. (2020). Promotion effect of nano-SiO₂ on hygroscopicity, leaching resistance and thermal stability of bamboo strips treated by nitrogen-phosphorus-boron fire retardants. *Wood Research*, 65 (5), 693–704. doi: <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/65.5.693704>
3. Lin, C.-F., Karlsson, O., Mantanis, G. I., Sandberg, D. (2019). Fire performance and leach resistance of pine wood impregnated with guanyl-urea phosphate/boric acid and a melamine-formaldehyde resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78 (1), 107–111. doi: <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01483-y>
4. Nakamura, M., Kanematsu, M., Nishio, Y., Yoshioka, H., Hagihara, S., Sugita, T. et al. (2019). Evaluation of durability of reaction-to-fire performance of fire-retardant treated wooden facades by accelerated weathering test. *AIJ Journal of Technology and Design*, 25 (60), 709–714. doi: <https://doi.org/10.3130/aijt.25.709>
5. Chu, D., Mu, J., Zhang, L., Li, Y. (2017). Promotion effect of NP fire retardant pre-treatment on heat-treated poplar wood. Part 2: hygroscopicity, leaching resistance, and thermal stability. *Holzforschung*, 71 (3), 217–223. doi: <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0213>
6. Donmez Cavdar, A., Mengeloğlu, F., Karakus, K. (2015). Effect of boric acid and borax on mechanical, fire and thermal properties of wood flour filled high density polyethylene composites. *Measurement*, 60, 6–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.078>
7. Son, D. W., Kang, M. R., Hwang, W. J., Lee, H. M., Park, S. B. (2014). Hygroscopic Property, Leaching Resistance and Metal Corrosive Efficacy of Wood Treated with Fire Retardants. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 42 (2), 157–162. doi: <https://doi.org/10.5658/wood.2014.42.2.157>
8. Zhao, P., Guo, C., Li, L. (2018). Flame retardancy and thermal degradation properties of polypropylene/wood flour composite modified with aluminum hypophosphite/melamine cyanurate. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135 (6), 3085–3093. doi: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7544-9>
9. Md Nasir, K., Ramli Sulong, N. H., Johan, M. R., Afifi, A. M. (2018). An investigation into waterborne intumescent coating with different fillers for steel application. *Pigment & Resin Technology*, 47 (2), 142–153. doi: <https://doi.org/10.1108/prt-09-2016-0089>
10. Kovalnogov, V. N., Karpukhina, T. V., Korotkov, E. A. (2016). Mathematic modeling of the kinetics of heat-and-humidity state of capillary-porous bodies under convection drying. *AIP Conference Proceedings*, 1738. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4952241>
11. 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>
12. Tsapko, Y., Tsapko, A., Bondarenko, O. P. (2020). Research of Conditions of Removal of Fire Protection from Building Construction. *Key Engineering Materials*, 864, 141–148. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.864.141>
13. Tsapko, Y., Lomaha, V., Bondarenko, O. P., Sukhanevych, M. (2020). Research of Mechanism of Fire Protection with Wood Lacquer. *Materials Science Forum*, 1006, 32–40. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.32>
14. Patnaik, P. (2004). *Dean's Analytical Chemistry Handbook*. McGraw-Hill Professional, 1280.
15. Potter, M. C. (2019). *Engineering analysis*. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91683-5>
16. Frank-Kamenetskiy, D. A. (1987). *Diffuziya i teploperedacha v himicheskoj kinetike*. Moscow: Nauka, 502.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228561**МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПЛАНУВАННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ТА ПЕРЕРОЗПОДІЛ СТОКОВИХ ВИТРАТ ПРИ ПРОПУСКУ ПАВОДКІВ (с. 6–17)****Д. О. Олефір, А. В. Панасенко**

Економічні збитки від повеней та паводків набули катастрофічних значень через зростання кількості та масштабів їх розповсюдження. Існуючі методики пропуску паводків та завчасної підготовки водосховищ до прийняття паводкових вод є неефективними та потребують удосконалення. Тому актуальною була задача розробки методики, яка б усунула зазначені недоліки.

Запропоновано методику розрахунків пропуску паводків на основі прогнозів приточності води з урахуванням характеристик паводкової хвилі та режиму наповнення водосховища, яка дає можливість зрізання (зменшення) максимальних витрат через гідровузлу шляхом акумулювання паводкових вод у водосховищі.

У програмному комплексі MIKE 11 (Датський інститут, Данія) створено гідродинамічну модель руху паводкових вод на досліджуваній ділянці річки від гідрологічного поста до гідровузла, яка дає змогу визначити рівні води та витрати у водосховищі у будь-який момент часу у вигляді кривих вільної поверхні при пропуску паводків різної забезпеченості.

На основі розробленої методики підготовлені рекомендації щодо форсованих скидів води через турбіни ГЕС ($y \text{ м}^3/\text{с}$) при пропуску паводків різної забезпеченості (що особливо важливо для паводків 0,01 % забезпеченості). Створена гідродинамічна модель руху паводкових вод через водосховище дозволила здійснити верифікацію розробленої методики.

Методика розроблена з метою ефективного пропуску паводкових вод та зрізання максимальних витрат через гідровузлу.

Запровадження методики при здійсненні розрахунків пропуску паводків дозволить уникнути холостих скидів води через водозливи гідроспоруд у нижній б'єфі та максимально ефективно використовувати гідроресурси паводкових вод.

Ключові слова: коливання рівнів води, неусталений режим, витрата води, ефективне використання гідроресурсів, неявна краєво-різницька схема потоку, MIKE 11.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229689**ГІДРОЛОГО-СТЕНОБІОНТНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ САНІТАРНИХ ПОПУСКІВ З ВОДОСХОВИЩА (с. 18–26)****Є. М. Безсонов, Л. Я. Мунтян, Д. О. Крисінська**

У практиці користування ресурсами річок, акумульованими у водосховищах, характерною є проблема необґрунтовано великого водозбору на господарсько-побутові потреби у збиток водній екосистемі. Важливим інструментом збалансування цих зв'язків є забезпечення санітарних попусків на основі комплексного аналізу закономірностей функціонування річки. І в розрізі прогресування негативного впливу водосховищ на цілісність екосистем річок недостатньо обґрунтованим слід розглядати вибір індикаторної гідробіоти під час розрахунку санітарних попусків. Вирішення цієї задачі, шляхом заповнення відповідної методичної ніші, дозволило обґрунтувати гідролого-стенобіонтний метод визначення санітарних попусків. В основу розроблених рішень покладено мінімально можливі значення толерантності стенобіонтів водних екосистем до швидкості течії. Відповідні цільові організми представлені п'ятьма групами представників макрозообентосу. Гідрологічні розрахунки, представлені у роботі, ґрунтуються на даних добових витрат ворди за 80 років та результатах польових досліджень глибини русла у межений період. На цій основі визначено, що для рівнинних ділянок річок швидкість течії у нижньому б'єфі водосховищ має бути не менше 0,2 м/с. Співставлення кривої динаміки швидкості середньомісячного річкового стоку 95 % забезпеченості з мінімальними відповідними вимогами стенобіонтів дозволило визначити найбільш загрозливий для водної екосистеми період року – літню межень. Для водосховища у рівнинній частині річки, на основі розробленого методу, розрахунками обґрунтовано збільшення мінімального об'єму санітарного попуску на 40 % відносно діючого. Також встановлено, що середньорічні та середньосекундні об'єми санітарних попусків мають складати близько 38 % відповідного стоку річки. Отримані результати близькі до тих, які отримані на річках у Китаї, Ірані та США у межах комплексного аналізу гідрологічних, гідравлічних та гідробіологічних параметрів водної екосистеми.

Ключові слова: санітарний попуск, руслове водосховище, швидкість течії, нижній б'єф, вимоги гідробіонтів.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230238**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ЧИСЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БІО-КОЛЬМАТАЦІЇ НА ФІЛЬТРАЦІЙНУ КОНСОЛІДАЦІЮ ҐРУНТУ (с. 27–34)****Н. В. Іванчук, П. М. Мартишок, О. Р. Мічута, Є. З. Маланчук, Г. О. Шліхта**

Методами математичного та комп'ютерного моделювання досліджено ступінь впливу біо-кольматації на динаміку розсіювання надлишкових напорів в масиві ґрунту. З цією метою модифіковано класичне рівняння фільтраційної консолідації на випадок змінної пористості, як наслідок зміни біомаси. Числовий розв'язок сформованої математичної моделі у вигляді нелінійної крайової задачі знайдено методом скінченних елементів. Проведено числові експерименти та здійснено їх аналіз. Зокрема, представлено графіки різниць напорів в масиві ґрунту при нехтуванні біо-кольматацією та при урахуванні впливу біо-кольматації в конкретні моменти часу відповідно. Числові експерименти показали, що через два роки після початку процесу консолідації в околі нижньої межі досліджуваного масиву ґрунту товщиною 10 метрів, надлишкові напори спадають від початкового значення 10 м до 4 м. Найбільший

вплив кольматація пор мікроорганізмами має в околі верхньої межі. На глибині 1 м при $t=180$ діб різниця напорів сягає 2.4 м. Це складає близько 200 % від розподілу напорів без урахування впливу біо-кольматації. З часом ефект впливу бактерій на розподіл напорів в околі верхньої межі зменшується. Однак цей ефект поширюється на весь масив ґрунту, аж до нижньої межі. Так при $t=540$ діб на нижній межі ефект біо-кольматації призводить до того, що надлишкові напори на 1.8 м більші, ніж для випадку фільтрації чистої води (відносно збільшення складає близько 80 %).

Процеси біо-кольматації, як результат розвитку мікроорганізмів, інтенсифікуються при надходженні в пористе середовище органічних хімічних речовин. Тому з практичної точки зору дослідження особливо актуальні для сховищ побутових відходів та стійкості їх ґрунтових основ. І проводити їх доцільно саме методами математичного та комп'ютерного моделювання.

Ключові слова: надлишкові напори, біо-кольматація, органічні відходи, метод скінченних елементів, фільтраційна консолидація.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.230216

РОЗРОБКА ФЕРУМВМІСНИХ СОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОД ВІД СПОЛУК АРСЕНУ (с. 35–42)

М. І. Літинська, Т. А. Донцова, О. І. Янушевская, В. О. Тарабака

Стаття присвячена розробці способу отримання та використання ферумвмісних сорбційних матеріалів для ефективного видалення сполук арсену різних ступенів окиснення з водного середовища. Добре відомо, що усі сполуки арсену згубно діють на біоту через свою високу токсичність. У статті теоретично та експериментально обґрунтовано вибір ферумвмісних матеріалів, як основного сорбційного матеріалу для видалення сполук арсену з водного середовища. Різними способами (гетерогенним і гомогенним методами хімічного осадження) синтезовано серію ферумвмісних адсорбентів, серед яких порошкові, зернисті на основі активованого вугілля та суспензійні сорбенти. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що адсорбційне вилучення арсенат-іонів на ферумвмісних сорбційних матеріалах відповідає псевдо-другому порядку реакції ($R^2=0,999$), що є притаманним адсорбційним процесам. Визначено, що оксигідроксидні сорбційні матеріали, отримані методом гомогенного осадження, демонструють вищу сорбційну активність (до 70 мг/г для As(III) та понад 70 мг/г для As(V)). Встановлено, що ферумвмісні сорбційні матеріали на основі активованого вугілля показали приблизно в 2 рази меншу ефективність, ніж порошкові сорбенти феруму(III) оксиду, феруму(III) оксигідроксиду та аморфного гідроксиду феруму(III). Показано, що для видалення суспензійних ферумвмісних сорбційних матеріалів перспективним є використання мікрофільтраційних мембран. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що використання комбінації «дрібнодисперсний ферум(III) оксигідроксид/мембрана» дозволяє не тільки ефективно видаляти сполуки арсену із забруднених ними вод до санітарних вимог (менше ніж 10 мкг As/дм³), а й відпрацьований дрібнодисперсний сорбент після процесу сорбції.

Ключові слова: сорбційно-мембранний метод очищення, сполуки арсену, суспензійні адсорбенти, ферумвмісні сорбційні матеріали.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.226692

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННЯХ ОБ'ЄКТІВ В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ (с. 43–50)

Б. Б. Поспелов, В. А. Андронов, Є. О. Рибка, М. О. Самойлов, О. М. Крайнюков, І. Ю. Бірюков, Т. Ю. Бутенко, Ю. С. Безугла, К. М. Карпець, Е. О. Кочанов

Запропоновано метод оперативного прогнозування пожеж, що передбачає послідовне виконання п'яти процедур. Розробка методу необхідна для прогнозування ранніх загорянь в приміщеннях для вжиття заходів недопущення їх переростання в некеровану фазу горіння – пожежу. В результаті дослідження встановлено, що короткостроковий прогноз рекурентності прирощень станів повітряного середовища на один крок на основі поточної міри рекурентності є ефективною ознакою ранніх загорянь в приміщеннях. При цьому встановлено, що до моменту загоряння матеріалу стан повітряного середовища характеризується динамічною стійкістю, яка описується нерегулярною та випадковою в часі зміною рекурентності станів вектора поточних прирощень стану повітряного середовища. Значення вказаних рівнів рекурентності прирощень стану визначаються рівнями ймовірності 0,67 і 0,1 відповідно. Ймовірність рекурентності прирощень стану 0,67 характерна для більшої кількості виміряних станів. При загорянні матеріалу динаміка ймовірності рекурентності прирощень станів різко змінюється. Відзначається перехід від двох до одного рівня рекурентності, близькому до нульової ймовірності – втрата динамічної стійкості (в районі 250 відліку). Подальша динаміка характеризується появою окремих випадкових рекурентних прирощень, що відповідає втраті стійкості повітряного середовища в приміщенні. В ході експерименту встановлено, що точність прогнозування пожежі запропонованим методом становить від 4,48 % до 12,79 %, що свідчить в цілому про його працездатність. Отримані дані виявляються корисними при розробці нових систем раннього попередження про пожежу в приміщеннях, а також модернізації існуючих систем і засобів протипожежного захисту приміщень.

Ключові слова: прогнозування пожежі, загоряння в приміщенні, міра рекурентності, прирощення станів, повітряне середовище.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229458

ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИМИВАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ФОСФОРНО-АМОНІЙНИХ СОЛЕЙ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ ДЕРЕВИНИ ЧЕРЕЗ ПОЛІУРЕТАНОВУ ОБОЛОНКУ (с. 51–58)

Ю. В. Цапко, Р. Д. Василюшин, О. М. Мельник, В. В. Ломага, О. Ю. Цапко, О. П. Бондаренко

Проведено аналіз вогнезахисних матеріалів для дерев'яних будівельних конструкцій і встановлено необхідність розробки надійних методів дослідження процесу вимивання антипіренів з поверхні будівельної конструкції, необхідних для створення нових

типів вогнезахисних матеріалів. Тому виникає необхідність визначення умов утворення бар'єру для вимивання і встановлення механізму гальмування передачі вологи до матеріалу. У зв'язку з цим розроблена математична модель вимивання антипіренів, при застосуванні полімерної оболонки з органічного матеріалу в якості покриття, що дозволяє оцінити ефективність полімерної оболонки за кількістю вимитого антипірену. За експериментальними даними та теоретичними залежностями розраховано динаміку виходу антипіренів з вогнезахищеного шару покриття, що не перевищує 1,0 %, та відповідно забезпечує вогнезахист деревини. Результати визначення втрати маси зразка під час впливу води вказують на неоднозначний вплив природи захисту на вимивання. Зокрема, це передбачає наявність даних, достатніх для якісного проведення процесу гальмування дифузії вологи та виявлення на його основі моменту часу, з якого починається падіння ефективності покриття. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що зразок вогнезахищеної деревини після експозиції води протягом 30 діб витримав вплив теплового потоку. Зокрема втрата маси деревини після температурного впливу становила менше 6 %, а температура димових газів не перевищила 185 °С. Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого регулювання процесів вогнезахисту деревини шляхом застосування полімерних покриттів, здатних утворювати на поверхні вогнезахищеного матеріалу захисний шар, який гальмує швидкість вимивання антипіренів.

Ключові слова: захисні засоби, втрата маси, оброблення поверхні деревини, вимивання антипірену, полімерна оболонка.