

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335730

EVALUATION OF THORIUM-BASED FUELS FOR 12-YEAR OPERATION OF SMALL MODULAR BWR WITHOUT REFUELING (p. 6–14)**Boni Pahlanop Lapanporo**

Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0041-0427>**Zaki Su'ud**

Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8907-9824>

The object of this study is an 870 MW_{th} small modular boiling water reactor (SMR-BWR) core that is expected to operate for 12 years without refueling. The main issue addressed is conventional BWR designs' limited fuel cycle duration, typically requiring refueling every 2–3 years. This short refueling period increases operational costs, leads to more extended maintenance downtimes, and generates larger volumes of spent fuel waste. This study examines the neutronic performance of thorium-based fuels, namely (Th-²³⁵U)O₂ and (Th-²³³U)O₂, and compares them with standard UO₂ fuel in an SMR-BWR core configuration. The reactor core is a heterogeneous core consisting of 3 fuel zones. To control reactivity, a burnable poison in the form of B₄C is also added to the fuel. Neutronic calculations are performed using the standard reactor analysis code (SRAC) system with the JENDL-4.0 nuclear data library. The SRAC code uses the PIJ module for fuel cell level calculations and the CITATION module for reactor core level calculations. The results show that (Th-²³³U)O₂ offers the most stable K_{eff} over a 12-year operating period, consistently remaining above the criticality threshold at all fuel volume fractions. In addition, this fuel type exhibits the most uniform power density distribution and the lowest PPF values, reducing the potential for thermal hotspots. (Th-²³³U)O₂ fuel can achieve a burnup level of around 50,000 MW/ton, which aligns with SMR-BWR standards. UO₂ and (Th-²³⁵U)O₂ fuels show a more pronounced K_{eff} decrease and less favorable power distribution characteristics. These findings underline the potential of (Th-²³³U)O₂ as a promising candidate for long-cycle, continuous SMR-BWR applications without refueling.

Keywords: thorium fuel, extended fuel cycle, neutronic performance, ²³³U, K_{eff}, burnup level, power density distribution, PPF.

References

- Lapanporo, B. P., Su'ud, Z. (2022). Parametric Study of Thorium Fuel Utilization on Small Modular Pressurized Water Reactors (PWR). *Journal of Physics: Conference Series*, 2243 (1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2243/1/012062>
- Science, N. (2013). Minor Actinide Burning in Thermal Reactors A Report. Working Party. Nuclear Energy Agency.
- Humphrey, U. E., Khandaker, M. U. (2018). Viability of thorium-based nuclear fuel cycle for the next generation nuclear reactor: Issues and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 259–275. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.019>
- Du Toit, M. H., Van Niekerk, F., Amirkhosravi, S. (2024). Review of thorium-containing fuels in LWRs. *Progress in Nuclear Energy*, 170, 105136. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105136>
- Galahom, A. A., Mohsen, M. Y. M., Amrani, N. (2022). Explore the possible advantages of using thorium-based fuel in a pressurized water reactor (PWR) Part 1: Neutronic analysis. *Nuclear Engineering and Technology*, 54 (1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.07.019>

- Lobo, M. C. A., Stefani, G. L. de. (2024). Thorium as nuclear fuel in Brazil: 1951 to 2023. *Nuclear Engineering and Design*, 419, 112912. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2024.112912>
- Gorton, J. P., Collins, B. S., Nelson, A. T., Brown, N. R. (2019). Reactor performance and safety characteristics of ThN-UN fuel concepts in a PWR. *Nuclear Engineering and Design*, 355, 110317. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.110317>
- Shaposhnik, Y., Shwageraus, E., Elias, E. (2013). Core design options for high conversion BWRs operating in Th-²³³U fuel cycle. *Nuclear Engineering and Design*, 263, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2013.04.018>
- Abdelghafar Galahom, A., Bashter, I. I., Aziz, M. (2015). Design of an MCNPX model to simulate the performance of BWRs using thorium as fuel and its validation with HELIOS code. *Annals of Nuclear Energy*, 77, 393–401. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.11.030>
- Insulander Björk, K., Fhager, V., Demazière, C. (2011). Comparison of thorium-based fuels with different fissile components in existing boiling water reactors. *Progress in Nuclear Energy*, 53 (6), 618–625. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2010.03.004>
- Carvalho, K. de A., Barros, G., Araujo, M. H. S., Vieira, T. A. S., Gonçalves, R. C., Silva, V., Santos, A. A. C. dos. (2025). Neutronic analysis and safety considerations in an innovative nuscale-like core merging thorium dioxide and reprocessed fuel. *Nuclear Engineering and Design*, 433, 113874. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2025.113874>
- Lapanporo, B. P., Su'ud, Z., Mustari, A. P. A. (2024). Comparison of the neutronic properties of the (Th-²³³U)O₂, (Th-²³³U)C, and (Th-²³³U)N fuels in small long-life PWR cores with 300, 400, and 500 MW_{th} of power. *Nukleonika*, 69(1), 3–12. <https://doi.org/10.2478/nuka-2024-0001>
- BWRX-300 General Description (2023). GE Hitachi Nuclear Energy. Available at: https://www.governova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/images/gas-new-site/en/bwr-x-300/005N9751_Rev_BWRX-300_General_Description.pdf
- Lapanporo, B. P., Su'ud, Z., Mustari, A. P. A. (2024). Neutronic design of small modular longlife pressurized water reactor using thorium carbide fuel at a power level of 300–500 MW_{th}. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (127)), 18–27. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.290996>
- Insulander Björk, K. (2013). A BWR fuel assembly design for efficient use of plutonium in thorium–plutonium fuel. *Progress in Nuclear Energy*, 65, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2013.01.010>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336172

AUTOMATED REAL-TIME ELECTROCARDIOGRAM DIAGNOSIS BASED ON THE MODIFIED PANTOMPKINS ALGORITHM FOR LONG-TERM MONITORING SYSTEMS (p. 15–27)**Yuliya Gerasimova**

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1877-383X>**Fatimah Sidi**

University of Putra Malaysia, Selangor, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9556-9045>**Victor Ivel**

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0854-3846>

Vladimir Avdeyev

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2183-4968>

Lili Nurliyana Abdullah

University of Putra Malaysia, Selangor, Malaysia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8704-2390>

Sayat Moldakhmetov

Manash Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2432-7983>

The object of this study is the process of automated analysis of the electrocardiographic signal (ECS) during long-term monitoring in real time, carried out by mobile wireless systems.

The study considers the problem related to the insufficient accuracy of automated diagnostics during long-term monitoring of the electrocardiogram (ECG) under conditions of limited computing resources and the presence of noise.

A modified Pan-Tompkins algorithm for determining the boundaries of the QRS system has been developed. Based on this algorithm, the PCard software module for the hardware and software system was implemented, enabling high-quality automated diagnostics both under the standard mode and during long-term ECG monitoring in 12 leads in real time. The PCard software module allows for ECG registration, digital filtering, measurement and calculation of electrocardiographic parameters, automatic determination of diagnostic criteria and diagnostic conclusions, formation of a general diagnostic conclusion of ECG, as well as medical processing of ECG.

The high quality of the diagnostic analysis was confirmed by the obtained accuracy rates of the algorithm for determining normal complexes – 99.99%, for determining ventricular complexes – 99.90%, for determining various pathologies – 98.43%. The ECG processing time was about 4.7 seconds for a 40-minute record. The proposed method for determining the boundaries of QRS complexes is based on the finite difference method, which distinguishes it from common methodologies using spectral analysis, wavelet transforms, or Fourier transforms. This methodology simplifies determining the parameters of the basic ECG elements and significantly reduces the amount of calculations, which generally increases the processing time and reduces the required volume of system resources.

Keywords: electrocardiogram, Holter monitoring, automated analysis, Pan-Tompkins algorithm, ESP32, QRS complex.

References

- Global Effect of Modifiable Risk Factors on Cardiovascular Disease and Mortality (2023). *New England Journal of Medicine*, 389 (14), 1273–1285. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2206916>
- Setiawidayat, S. (2023). Discrete electrocardiogram T amplitude detection based on cycle duration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (9 (123)), 94–105. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282759>
- Liu, F., Liu, C., Jiang, X., Zhang, Z., Zhang, Y., Li, J., Wei, S. (2018). Performance Analysis of Ten Common QRS Detectors on Different ECG Application Cases. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2018/9050812>
- Attia, Z. I., Noseworthy, P. A., Lopez-Jimenez, F., Asirvatham, S. J., Deshmukh, A. J., Gersh, B. J. et al. (2019). An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *The Lancet*, 394 (10201), 861–867. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31721-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31721-0)
- Havranek, S., Stekla, B., Vesela, M., Holub, J., Miksova, L., Kvasnickova, K. et al. (2025). Artificial intelligence in resting ecg: higher accuracy in the interpretation of rhythm abnormalities. *Europace*, 27. <https://doi.org/10.1093/europace/eaaf085.029>
- So-In, C., Phaudphut, C., Rujirakul, K. (2015). Real-Time ECG Noise Reduction with QRS Complex Detection for Mobile Health Services. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40 (9), 2503–2514. <https://doi.org/10.1007/s13369-015-1658-1>
- Xiang, Y., Lin, Z., Meng, J. (2018). Automatic QRS complex detection using two-level convolutional neural network. *BioMedical Engineering OnLine*, 17 (1). <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0441-4>
- He, R., Liu, Y., Wang, K., Zhao, N., Yuan, Y., Li, Q., Zhang, H. (2021). Automatic Detection of QRS Complexes Using Dual Channels Based on U-Net and Bidirectional Long Short-Term Memory. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25 (4), 1052–1061. <https://doi.org/10.1109/jbhi.2020.3018563>
- QRS Detection Based on Discrete Wavelet Transform for ECG Signal with Motion Artifacts (2024). *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 40 (1), 118–128. <https://doi.org/10.37934/araset.40.1.118128>
- Khan, N., Imtiaz, M. N. (2023). Pan-Tompkins++: A Robust Approach to Detect R-peaks in ECG Signals. <https://doi.org/10.32920/22734308>
- Abd Al-Jabbar, E. Y., Al-Hatab, M. M. M., Qasim, M. A., Fathel, W. R., Fadhil, M. A. (2023). Clinical Fusion for Real-Time Complex QRS Pattern Detection in Wearable ECG Using the Pan-Tompkins Algorithm. *Fusion: Practice and Applications*, 12 (2), 172–184. <https://doi.org/10.54216/fpa.120214>
- Fariha, M. A. Z., Ikeura, R., Hayakawa, S., Tsutsumi, S. (2020). Analysis of Pan-Tompkins Algorithm Performance with Noisy ECG Signals. *Journal of Physics: Conference Series*, 1532 (1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1532/1/012022>
- Félix, R. A., Ochoa-Brust, A., Mata-López, W., Martínez-Peláez, R., Mena, L. J., Valdez-Velázquez, L. L. (2023). Fast Parabolic Fitting: An R-Peak Detection Algorithm for Wearable ECG Devices. *Sensors*, 23 (21), 8796. <https://doi.org/10.3390/s23218796>
- Belkadi, M., Daamouche, A. (2020). Swarm Intelligence Approach to QRS Detection. *The International Arab Journal of Information Technology*, 17 (4), 480–487. <https://doi.org/10.34028/iajit/17/4/6>
- Zhao, K., Li, Y., Wang, G., Pu, Y., Lian, Y. (2021). A robust QRS detection and accurate R-peak identification algorithm for wearable ECG sensors. *Science China Information Sciences*, 64 (8). <https://doi.org/10.1007/s11432-020-3150-2>
- Ribeiro, L., Rosa, M. M. A., Soares, R., Costa, E. (2024). Exploring Approximate Adders for an Energy-Efficient Pre-Processing Pan-Tompkins Algorithm VLSI Design. 2024 37th SBC/SBMicro/IEEE Symposium on Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI), 1–5. <https://doi.org/10.1109/sbcci62366.2024.10703995>
- Waleed, R. (2024). Real-time processing stages of electrocardiogram signal: a review. *Journal of Modern Technology and Engineering*, 9 (1), 39–54. <https://doi.org/10.62476/jmte9139>
- Gerasimova, Y., Ivel, V., Moldakhmetov, S., Petrov, P. (2024). Hardware-software implementation of a local Wi-Fi network for the transmission of biomedical signals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (130)), 34–43. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309387>
- Ivel, V. P., Gerasimova, Y. V., Moldakhmetov, S. S., Petrov, P. A., Gerasimov, I. A., Zainchkovskaya, K. V. (2019). Wireless three-channel Holter monitoring system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 537(3), 032090. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/537/3/032090>
- Database ROHMINE. ROHMINE. Available at: <http://rohmiline.org/baza-dannykh-rokhmine/>
- LeVeque, R. J. (2007). Finite difference methods for ordinary and partial differential equations: steady-state and time-dependent problems. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).

22. Manikandan, M. S., Soman, K. P. (2012). A novel method for detecting R-peaks in electrocardiogram (ECG) signal. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7 (2), 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2011.03.004>
23. Hossain, M. B., Bashar, S. K., Walkey, A. J., McManus, D. D., Chon, K. H. (2019). An Accurate QRS Complex and P Wave Detection in ECG Signals Using Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise Approach. *IEEE Access*, 7, 128869–128880. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2939943>
24. Arzeno, N. M., Deng, Z.-D., Poon, C.-S. (2008). Analysis of First-Derivative Based QRS Detection Algorithms. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55 (2), 478–484. <https://doi.org/10.1109/tbme.2007.912658>
25. Benitez, D., Gaydecki, P. A., Zaidi, A., Fitzpatrick, A. P. (2001). The use of the Hilbert transform in ECG signal analysis. *Computers in Biology and Medicine*, 31 (5), 399–406. [https://doi.org/10.1016/s0010-4825\(01\)00009-9](https://doi.org/10.1016/s0010-4825(01)00009-9)
26. Li, Q., Liu, Y., Zhao, N., Yuan, Y., He, R. (2023). A Novel ECG QRS Complex Detection Algorithm Based on Dynamic Bayesian Network. <https://doi.org/10.36227/techrxiv.22791089>
27. Lai, D., Zhang, F., Wang, C. (2015). A real-time QRS complex detection algorithm based on differential threshold method. *2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP)*, 129–133. <https://doi.org/10.1109/icdsp.2015.7251844>
28. Neri, L., Oberdier, M. T., Augello, A., Suzuki, M., Tumarkin, E., Jaipalli, S. et al. (2023). Algorithm for Mobile Platform-Based Real-Time QRS Detection. *Sensors*, 23 (3), 1625. <https://doi.org/10.3390/s23031625>
29. Gradl, S., Kugler, P., Lohmuller, C., Eskofier, B. (2012). Real-time ECG monitoring and arrhythmia detection using Android-based mobile devices. *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2452–2455. <https://doi.org/10.1109/embs.2012.6346460>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338091

DESIGN OF A MAGNETIC ACTIVATOR TO PREVENT SCALE FORMATION ON THE SURFACE OF TUBULAR ELECTRIC WATER HEATERS (p. 28–38)

Aliya AlkinaAbylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-0593>**Ali Mekhtiyev**Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>**Yelena Neshina**Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>**Yermek Sarsikeyev**S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7209-5024>**Tatyana Gerassimenko**S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5704-5419>**Ruslan Mekhtiyev**Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5416-3444>**Oxana Aldoshina**Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5700-2793>

The object of this study is the processes of scale formation in electric water heating systems when using water of increased hardness.

The paper reports the design and testing of a magnetic activator to prevent scale formation on tubular electric heaters under hard water conditions without the use of chemical reagents. The device with neodymium magnets is installed on the supply pipeline of the water heater and solves the problem of scale formation without the use of chemical reagents.

The experiment was conducted for 90 days on a laboratory bench simulating the operation of a domestic water heater. Magnetic treatment of water reduces the overall hardness by 15–20%, the content of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions by 35–50% and forms predominantly an aragonite modification of calcium carbonate, which is less prone to strong adhesion to the heating surface. The thickness of the scale layer on the heating element is about 0.5 mm versus 2 mm in the control sample, which reduced additional energy costs from 13% to 3%.

The effect is attributed to the action of magnetic field on the hydrate shells of hardness ions, which contributes to the formation of a less durable aragonite modification of calcium carbonate and disruption of the conditions for the crystallization of durable calcite on the heating surface.

A unique feature of the device is a combination of internal and external magnetic activators based on neodymium magnets that generate a stable magnetic field with high induction, as well as the presence of a sump and design solutions that prevent contact of the magnets with water. This enables a long-term and targeted effect of the field on the water flow, which improves the efficiency of treatment. The magnetic activator is effective in domestic and industrial water heating systems with hard water; it increases the service life of the equipment, reduces energy consumption, and decreases the need for chemical reagents.

Keywords: magnetic field, hardness salts, energy efficiency, water treatment, electric heater, magnets, calcium, magnesium.

References

1. Lin, L., Jiang, W., Xu, X., Xu, P. (2020). A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation. *Npj Clean Water*, 3 (1). <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0071-9>
2. Alabi, A., Chiesa, M., Garlisi, C., Palmisano, G. (2015). Advances in anti-scale magnetic water treatment. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 1 (4), 408–425. <https://doi.org/10.1039/c5ew00052a>
3. Naderi, M., Past, V., Mahvi, A. H. (2024). Magnetic treatment as a suppressive method for CaCO_3 scale deposition in hard waters in the presence of air bubbles. *Desalination and Water Treatment*, 318, 100249. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100249>
4. Alimi, F. (2024). Influence of Magnetic Field on Calcium Carbonate Precipitation: A Critical Review. *Magnetochemistry*, 10 (11), 83. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry10110083>
5. Martínez Moya, S., Boluda Botella, N. (2021). Review of Techniques to Reduce and Prevent Carbonate Scale. *Prospecting in Water Treatment by Magnetism and Electromagnetism*. *Water*, 13 (17), 2365. <https://doi.org/10.3390/w13172365>
6. Lin, L., Xu, X., Papelis, C., Xu, P. (2017). Innovative use of drinking water treatment solids for heavy metals removal from desalination concentrate: Synergistic effect of salts and natural organic matter. *Chemical Engineering Research and Design*, 120, 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.02.009>
7. Padilla González, P., Bautista-Capetillo, C., Ruiz-Canales, A., González-Trinidad, J. et al. (2022). Characterization of Scale Deposits

- in a Drinking Water Network in a Semi-Arid Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (6), 3257. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063257>
8. Poirier, K., Lotfi, M., Garg, K., Patchigolla, K., Anthony, E. J., Faisal, N. H. et al. (2023). A comprehensive review of pre- and post-treatment approaches to achieve sustainable desalination for different water streams. *Desalination*, 566, 116944. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116944>
 9. Kozisek, F. (2020). Regulations for calcium, magnesium or hardness in drinking water in the European Union member states. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 112, 104589. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104589>
 10. Naderi, M., Nasser, S., Mahvi, A. H., Mesdaghinia, A., Naddafi, K. (2021). Mechanical trajectory control of water mineral impurities in the electrochemical-magnetic reactor. *Desalination and Water Treatment*, 238, 67–81. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27756>
 11. Miranzadeh, M. B., Naderi, M., Past, V. (2021). The interaction effect of magnetism on arsenic and iron ions in water. *Desalination and Water Treatment*, 213, 343–347. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.26712>
 12. Gholami, S., Naderi, M., Yousefi, M., Arjmand, M. M. (2019). The electrochemical removal of bacteria from drinking water. *Desalination and Water Treatment*, 160, 110–115. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24181>
 13. Mysliwiec, D., Szcześ, A., Chibowski, S. (2016). Influence of static magnetic field on the kinetics of calcium carbonate formation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 35, 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.01.026>
 14. Wang, J., Zhang, J., Liang, Y., Xu, Y. (2024). Application of excitation current to characterize the state of calcium carbonate fouling on heat transfer surface under alternating magnetic field. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 224, 125304. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125304>
 15. Amer, L., Ouhenia, S., Chateigner, D., Gascoin, S., Belabbas, I. (2021). The effect of a magnetic field on the precipitation of calcium carbonate. *Applied Physics A*, 127 (9). <https://doi.org/10.1007/s00339-021-04860-8>
 16. Loureiro, J. B. R., Martins, A. L., Gonçalves, A. S., Souza, B. G. B., Schluter, H. E. P., Santos, H. F. L. et al. (2022). Large-Scale Pipe Flow Experiments for the Evaluation of Nonchemical Solutions for Calcium Carbonate Scaling Inhibition and Control. *SPE Journal*, 28 (1), 201–214. <https://doi.org/10.2118/209476-pa>
 17. Roi, I., Vaskina, I., Jozwiakowski, K., Vaskin, R., Kozii, I. (2020). Influence of the Magnetic Field Gradient on the Efficiency of Magnetic Water Treatment. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*. Springer, 387–395. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_37
 18. Ghernaout, D., Elboughdiri, N. (2020). Magnetic Field Application: An Underappreciated Outstanding Technology. *OALib*, 7 (1), 1–12. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106000>
 19. ElMassalami, M., Teixeira, M. S., Elzubair, A. (2025). Investigating the Antiscale Magnetic Treatment Controversy: Insights from the Model Calcium Carbonate Scalant. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82048-9>
 20. Hamdi, R., Tlili, M. M. (2023). Influence of Foreign Salts and Antiscalants on Calcium Carbonate Crystallization. *Crystals*, 13 (3), 516. <https://doi.org/10.3390/cryst13030516>
 21. Matsuura, T., Okazaki, T., Sazawa, K., Hosoki, A., Ueda, A., Kuramitz, H. (2024). Fiber Optic-Based Portable Sensor for Rapid Evaluation and In Situ Real-Time Sensing of Scale Formation in Geothermal Water. *Chemosensors*, 12 (9), 171. <https://doi.org/10.3390/chemosensors12090171>
 22. Tang, C., Godskesen, B., Aktor, H., Rijn, M. van, Kristensen, J. B., Rosshaug, P. S. et al. (2020). Procedure for Calculating the Calcium Carbonate Precipitation Potential (CCPP) in Drinking Water Supply: Importance of Temperature, Ionic Species and Open/Closed System. *Water*, 13 (1), 42. <https://doi.org/10.3390/w13010042>
 23. Zhang, Z., Jia, Y., Zhao, J. (2020). Effect of Magnesium Ion Concentration on the Scale Inhibition of Heat Exchanger in Circulating Cooling Water under Alternating Electric Field. *Applied Sciences*, 10 (16), 5491. <https://doi.org/10.3390/app10165491>
 24. Van, H. T., Nguyen, L. H., Nguyen, V. D., Nguyen, X. H., Nguyen, T. H., Nguyen, T. V. et al. (2019). Characteristics and mechanisms of cadmium adsorption onto biogenic aragonite shells-derived biosorbent: Batch and column studies. *Journal of Environmental Management*, 241, 535–548. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.079>
 25. Chang, B., Li, G., Guo, F., Lu, S., Peng, Y., Hou, J. (2024). Research on Carbon Dioxide-Assisted Electrocoagulation Technology for Treatment of Divalent Cations in Water. *Water*, 16 (12), 1715. <https://doi.org/10.3390/w16121715>
 26. Mekhtiyev, A. D., Sarsikeyev, Ye. Zh., Atyaksheva, A. V., Atyaksheva, A. D., Gerassimenko, T. S., Alkina, A. D. (. Method of preventing deposits on the inner surface of circulating water pipelines of ferroalloy electric furnace cooling systems. *Metalurgija* 60 (2021) 3-4, 321-324. <https://hrcak.srce.hr/256098>
 27. Mekhtiyev, A., Sarsikeyev, Y., Gerassimenko, T., Alkina, A., Mekhtiyev, R., Neshina, Y., Kirichenko, L. (2024). Development of a magnetic activator to protect an electric water heater against scale formation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (132)), 95–102. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314957>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.335730

ОЦІНКА ПАЛИВА НА ОСНОВІ ТОРІЮ ДЛЯ 12-РІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАЛИХ МОДУЛЬНИХ РЕАКТОРІВ З КИПЛЯЧОЮ ВОДОЮ БЕЗ ПЕРЕЗАПРАВКИ (с. 6–14)

Boni Pahlanop Lapanporo, Zaki Su'ud

Об'єктом цього дослідження є активна зона малого модульного реактора з киплячою водою (ММРКВ) потужністю 870 МВт, яка, як очікується, працюватиме 12 років без перезавантаження палива. Основною проблемою, що розглядається, є обмежена тривалість паливного циклу традиційних конструкцій реакторів з киплячою водою (РКВ), яка зазвичай вимагає перезавантаження палива кожні 2–3 роки. Цей короткий період перезавантаження палива збільшує експлуатаційні витрати, призводить до триваліших простойв на технічне обслуговування та генерує більші обсяги відпрацьованого палива. У цьому дослідженні розглядаються нейтронні характеристики палива на основі торію, а саме $(\text{Th}^{235}\text{U})\text{O}_2$ та $(\text{Th}^{233}\text{U})\text{O}_2$, та порівнюються зі стандартним паливом UO_2 у конфігурації активної зони ММРКВ. Активна зона реактора є гетерогенною, що складається з 3 паливних зон. Для контролю реактивності до палива також додається горюча отрута у вигляді B_4C . Нейтронні розрахунки виконуються за допомогою стандартної системи коду аналізу реактора (СКАР) з бібліотекою ядерних даних JENDL-4.0. Код СКАР використовує модуль РІП для розрахунків рівня паливних елементів та модуль CITATION для розрахунків рівня активної зони реактора. Результати показують, що $(\text{Th}^{233}\text{U})\text{O}_2$ пропонує найстабільніший показник K_{eff} протягом 12-річного періоду експлуатації, постійно залишаючись вище порогу критичності для всіх об'ємних часток палива. Крім того, цей тип палива демонструє найрівномірніший розподіл густини потужності та найнижчі значення коефіцієнта пікової потужності (КПП), що зменшує потенціал теплових гарячих точок. Паливо $(\text{Th}^{233}\text{U})\text{O}_2$ може досягти рівня вигорання близько 50 000 МВт/тонну, що відповідає стандартам ММРКВ. Палива UO_2 та $(\text{Th}^{235}\text{U})\text{O}_2$ демонструють більш виражене зниження K_{eff} та менш сприятливі характеристики розподілу потужності. Ці результати підкреслюють потенціал $(\text{Th}^{233}\text{U})\text{O}_2$ як перспективного кандидата для тривалоциклових, безперервних застосувань ММРКВ без перезарядження.

Ключові слова: торієве паливо, розширений паливний цикл, нейтронно-емісійні характеристики, ^{233}U , K_{eff} , рівень вигорання, розподіл густини потужності, КПП.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.336172

АВТОМАТИЗОВАНА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО АЛГОРИТМУ ПАНА-ТОМПКІНСА ДЛЯ СИСТЕМ ТРИВАЛОГО МОНІТОРИНГУ (с. 15–27)

Yuliya Gerassimova, Fatimah Sidi, Victor Ivel, Vladimir Avdeyev, Lili Nurliyana Abdullah, Sayat Moldakhmetov

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого аналізу електрокардіосигналу (ЕКС) під час тривалого моніторингу в режимі реального часу, що здійснюється мобільними бездротовими системами. У дослідженні розв'язується проблема недостатньої точності автоматизованої діагностики при тривалому моніторингу електрокардіограми (ЕКГ) в умовах обмежених обчислювальних ресурсів та наявності шумів.

Розроблено модифікований алгоритм Пана-Томпкінса для визначення меж QRS-комплексу. На основі цього алгоритму реалізовано програмний модуль PCard для апаратно-програмного комплексу, що забезпечує якісну автоматизовану діагностику як у стандартному режимі, так і під час тривалого моніторингу ЕКГ у 12-ти відведеннях у режимі реального часу.

Програмний модуль PCard дозволяє здійснювати реєстрацію ЕКС, цифрову фільтрацію, вимірювання й розрахунок електрокардіографічних параметрів, автоматичне визначення діагностичних критеріїв і висновків, формування загального діагностичного висновку ЕКГ, а також лікарську обробку ЕКГ.

Високу якість діагностичного аналізу підтверджують отримані показники точності алгоритму: для визначення нормальних комплексів – 99,99%, для визначення шлуночкових комплексів – 99,90%, для виявлення різних патологій – 98,43%. Час обробки ЕКГ становив близько 4,7 секунди для запису тривалістю 40 хвилин.

Запропонована методика визначення меж комплексів QRS ґрунтується на використанні методу скінченних різниць, що вигідно відрізняє її від поширених методик зі спектральним аналізом, методом вейвлет-перетворень чи перетворення Фур'є. Такий підхід спрощує визначення параметрів основних елементів ЕКГ і суттєво скорочує обсяг обчислень, що в цілому підвищує швидкість обробки та зменшує потребу в системних ресурсах.

Ключові слова: електрокардіограма, холтеровське моніторування, автоматизований аналіз, алгоритм Пана-Томпкінса, ESP32, QRS-комплекс.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338091

РОЗРОБКА МАГНІТНОГО АКТИВАТОРА ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ УТВОРЕННЮ НАКИПУ НА ПОВЕРХНІ ТРУБЧАСТИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВОДОНАГРІВАЧІВ (с. 28–38)

Aliya Alkina, Ali Mekhtiyev, Yelena Neshina, Yermek Sarsikayev, Tatyana Gerassimenko, Ruslan Mekhtiyev, Oxana Aldoshina

Об'єктом дослідження були процеси утворення накипу в електричних водонагрівальних системах за використання води підвищеної жорсткості.

Дослідження присвячено розробці та апробації магнітного активатора для запобігання утворенню накипу на трубчастих електронагрівачах у жорсткій воді без застосування хімічних реагентів.

Пристрій з неодимовими магнітами встановлюється на подаючому трубопроводі водонагрівача та вирішує проблему накипоутворення без використання реагентів. Експеримент тривав 90 днів на лабораторному стенді, що імітував роботу побутового водонагрівача.

Магнітна обробка води знизила загальну жорсткість на 15–20%, вміст іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} – на 35–50%, а також сприяла формуванню переважно арагонітної модифікації карбонату кальцію, менш схильної до міцного зчеплення з поверхнею нагріву. Товщина шару накипу на нагрівальному елементі склала близько 0,5 мм проти 2 мм у контрольному зразку, що забезпечило зменшення додаткових енерговитрат із 13% до 3%.

Ефект пояснюється дією магнітного поля на гідратні оболонки іонів жорсткості, що сприяє утворенню менш міцної арагонітної модифікації карбонату кальцію та порушує умови кристалізації стійкого кальциту на нагрівальній поверхні.

Унікальною особливістю пристрою є комбінація внутрішнього та зовнішнього магнітних активаторів на основі неодимових магнітів, що створюють стабільне магнітне поле з високою індукцією, а також наявність відстійника та конструктивних рішень, які запобігають контакту магнітів із водою. Це забезпечило тривалу та спрямовану дію поля на потік води, що підвищило ефективність обробки.

Магнітний активатор ефективний у побутових та промислових системах водонагріву з жорсткою водою, збільшує термін служби обладнання, знижує енергоспоживання та зменшує потребу в хімічних реагентах.

Ключові слова: магнітне поле, солі жорсткості, енергоефективність, водопідготовка, електронагрівач, магніти, кальцій, магній.