



MECHANICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298870

TIME HISTORY NONLINEAR ANALYSIS FOR 2D MODELIZATION OF AN EXISTING BUILDING USING FLEXIBILITY AND DISPLACEMENT-BASED FORMULATION

pages 6–11

Mourad Belgasmia, Professor, Department of Civil Engineering, Civil Engineering Research Laboratory, Sétif 1 University, Sétif, Algeria, e-mail: mourad.belgasmia@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1409-0281>

Sabah Moussaoui, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Civil Engineering Research Laboratory, Sétif 1 University, Sétif, Algeria, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8641-089X>

Rebadj Chabane, Postgraduate Student, Department of Civil Engineering, Laarbi Tébessi University, Tébessa, Algeria, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6943-8807>

The object of the research is the response of a structure in time between formulations, namely force-based (flexibility-based) and displacement-based.

An existing two-story reinforced concrete structure subjected to three earthquakes separately is presented in order to carry out a comparative study in terms of time history structure response between the two formulations cited above namely force based (flexibility based) and displacement based.

This research aimed to compare between two formulations namely displacement based and force-based (flexibility-based), in order to show the accuracy and the reliability of the second one. In the case of nonlinear time history response of a residential two-storey reinforced concrete building, which is representative of typical residential building construction in Italy in the 1970's and 1980's with the aim of taking advantages of flexibility-based formulation if the comparison proves conclusive.

In the course of the research, the former approach is a classical two-node, displacement-based, Euler-Bernoulli frame element with the disadvantage of discretizing the structure thus increasing the number of degrees of freedom and equation, in order to achieve the required precision. The latter is a two-node, force-based, Euler Bernoulli frame element. The main advantage of the second element is that it is «exact» within the relevant frame element theory. This implies that one element per frame member (beam or column) is used in preparing the frame mesh, thus leading to a reduction of the global number of degrees of freedom. Therefore, a reduction in number of equations to solve, resulting in a saving of time with increased precision.

An existing two-story reinforced concrete structure subjected to three earthquakes separately is presented in order to carry out a comparative study in terms of time history structure response between the two formulations cited above namely force based (flexibility-based) and displacement-based. As a result of the research, it is shown that with flexibility-based approach no discretization error occurs and all governing equations are satisfied exactly, making a possibility of simpler and faster numerical modeling. In the proposed approach will be of great use in the field of numerical modeling due to its ease and accuracy. This elegant formulation is promising for future work thanks to its advantages.

Keywords: flexibility-based, displacement-based, time-history analysis, frame structures, nonlinear analyses, Euler-Bernoulli frame element.

References

- Belgasmia, M. (2021) Structural dynamics and static nonlinear analysis from theory to application. *Engineering Science Reference, an imprint of IGI Global*. Hershey.
- Walport, F., Arrayago, I., Gardner, L., Nethercot, D. A. (2021). Influence of geometric and material nonlinearities on the behaviour and design of stainless steel frames. *Journal of Constructional Steel Research*, 187, 106981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2021.106981>
- Alemdar, B. N., White, D. W. (2005). Displacement, Flexibility, and Mixed Beam-Column Finite Element Formulations for Distributed Plasticity Analysis. *Journal of Structural Engineering*, 131 (12), 1811–1819. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(2005\)131:12\(1811\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(2005)131:12(1811))
- Hjelmstad, K. D., Taciroglu, E. (2005). Variational Basis of Nonlinear Flexibility Methods for Structural Analysis of Frames. *Journal of Engineering Mechanics*, 131 (11), 1157–1169. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9399\(2005\)131:11\(1157\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9399(2005)131:11(1157))
- Spacone, E., Filippou, F. C., Taucer, F. F. (1996). Fiber beam-column model for nonlinear analysis of R/C frames. I: Formulation, II: Applications. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 25 (7), 727–742. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9845\(199607\)25:7<727::aid-eqe577>3.3.co;2-f](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9845(199607)25:7<727::aid-eqe577>3.3.co;2-f)
- Neuenhofer, A., Filippou, F. C. (1998). Geometrically Nonlinear Flexibility-Based Frame Finite Element. *Journal of Structural Engineering*, 124 (6), 704–711. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1998\)124:6\(704\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1998)124:6(704))
- Reynders, E., De Roeck, G. (2010). A local flexibility method for vibration-based damage localization and quantification. *Journal of Sound and Vibration*, 329 (12), 2367–2383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.04.026>
- Mourad, B., Sabah, M. (2015). Comparison between static nonlinear and time history analysis using flexibility-based model for an existing structure and effect of taking into account soil using Domain Reduction Method for a single media. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 19 (3), 651–663. doi: <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0351-y>
- Hjelmstad, K. D., Taciroglu, E. (2002). Mixed methods and flexibility approaches for nonlinear frame analysis. *Journal of Constructional Steel Research*, 58 (5-8), 967–993. doi: [https://doi.org/10.1016/S0143-974X\(01\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0143-974X(01)00100-6)
- Valipour, H. R., Foster, S. J. (2010). A total secant flexibility-based formulation for frame elements with physical and geometrical nonlinearities. *Finite Elements in Analysis and Design*, 46 (3), 288–297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.finel.2009.11.002>
- Güney, D., Kuruşçu, A. O. (2011). Optimization of the configuration of infill walls in order to increase seismic resistance of building structures. *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (4), 698–706.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298883

DOUBLE INCLINED CRACKS OVERLAPPING EFFECT ON MIXED STRESS INTENSITY FACTORS USING XFEM OBJECT-ORIENTED IMPLEMENTATION

pages 12–18

Rebadj Chabane, Postgraduate Student, Department of Civil Engineering, Mines Laboratory, Laarbi Tébessi University, Tébessa,

Algeria, e-mail: chabane.rebadj@univ-tebessa.dz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6943-8807>

Sabah Moussaoui, Department of Civil Engineering, Civil Engineering Research Laboratory, Sétif 1 University, Sétif, Algeria, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8641-089X>

Mourad Belgasmia, Professor, Department of Civil Engineering, Civil Engineering Research Laboratory, Sétif 1 University, Sétif, Algeria, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1409-02814>

The object of research is the Mixed Mode Stress Intensity Factor (MMSIF) of a two-dimensional (2D) plate.

With the emergence of modern technologies and advanced innovations which contribute to the development and improvement of the design, implementation and management of construction projects, it has become easier. However, it is very difficult to manufacture components free from unavoidable defects, such as cracks, which lead to material deterioration and ultimately shorten its service life. Based on the process of local enrichment region using partition of unity concept, the extended finite element method (XFEM) has overcome the limitations of the standard FEM method in terms of modeling and numerical simulation of discontinuities (cracks) while gaining its general advantages. This makes XFEM a powerful and widely used digital tool in recent years. One of the most frequently raised problems in the discontinuities field (cracks) is the phenomenon of juxtaposition of multiple cracks in a cracked isotropic plate, which must be studied to determine the extent of its effect on the crack stress intensity factor in order to obtain higher safety reliability. On this basis, an improved object-oriented programming (OOP) with extended finite elements was used because of its great importance and well-known benefits.

In this paper, the MMSIF of a 2D plate is determined to show the effect of the out-of-phase orientation of the angle, as well as the effect of the juxtaposition of two inclined cracks. As a result of the research, it is shown that, the convergence between the results obtained in this study with those reported in the literature, and to theoretical values is remarkable and their close agreement was noted. In the future, based on the object-oriented approach characteristics represented by flexibility, scalability, and modularity, which were explained in this research, this proposed approach can be enriched to include heterogeneous materials modeling, whether linear or nonlinear, crack propagation in dynamics, in addition to Complex 3D industrial problems.

Keywords: extended finite element method (XFEM), mixed mode stress intensity factor (MMSIF), inclined center crack, overlapping effect, C++ object-oriented programming.

References

- Belytschko, T., Mos, N., Usui, S., Parimi, C. (2001). Arbitrary discontinuities in finite elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 50 (4), 993–1013. doi: [https://doi.org/10.1002/1097-0207\(20010210\)50:4<993::aid-nme164>3.0.co;2-m](https://doi.org/10.1002/1097-0207(20010210)50:4<993::aid-nme164>3.0.co;2-m)
- Belytschko, T., Gracie, R., Ventura, G. (2009). A review of extended/generalized finite element methods for material modeling. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 17 (4), 043001. doi: <https://doi.org/10.1088/0965-0393/17/4/043001>
- Belytschko, T., Gracie, R. (2007). On XFEM applications to dislocations and interfaces. *International Journal of Plasticity*, 23 (10-11), 1721–1738. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2007.03.003>
- Belytschko, T., Black, T. (1999). Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 45 (5), 601–620. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0207\(19990620\)45:5<601::aid-nme598>3.0.co;2-s](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0207(19990620)45:5<601::aid-nme598>3.0.co;2-s)
- Mos, N., Dolbow, J., Belytschko, T. (1999). A finite element method for crack growth without remeshing. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 46 (1), 131–150. doi: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0207\(19990910\)46:1<131::aid-nme726>3.0.co;2-j](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0207(19990910)46:1<131::aid-nme726>3.0.co;2-j)
- Moës, N., Belytschko, T. (2002). Extended finite element method for cohesive crack growth. *Engineering Fracture Mechanics*, 69 (7), 813–833. doi: [https://doi.org/10.1016/s0013-7944\(01\)00128-x](https://doi.org/10.1016/s0013-7944(01)00128-x)
- Parks, D. M. (1974). A stiffness derivative finite element technique for determination of crack tip stress intensity factors. *International Journal of Fracture*, 10 (4), 487–502. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00155252>
- Hellen, T. K. (1975). On the method of virtual crack extensions. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 9 (1), 187–207. doi: <https://doi.org/10.1002/nme.1620090114>
- Rybicki, E. F., Kanninen, M. F. (1977). A finite element calculation of stress intensity factors by a modified crack closure integral. *Engineering Fracture Mechanics*, 9 (4), 931–938. doi: [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(77\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0013-7944(77)90013-3)
- Rice, J. R. (1968). A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks. *Journal of Applied Mechanics*, 35 (2), 379–386. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3601206>
- Rice, J. R., Rosengren, G. F. (1968). Plane strain deformation near a crack tip in a power-law hardening material. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 16 (1), 1–12. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(68\)90013-6](https://doi.org/10.1016/0022-5096(68)90013-6)
- Fracture mechanics. 19: San Antonio* (1988). ASTM, Philadelphia, 939.
- Stern, M., Becker, E. B., Dunham, R. S. (1976). A contour integral computation of mixed-mode stress intensity factors. *International Journal of Fracture*, 12 (3), 359–368. doi: <https://doi.org/10.1007/bf00032831>
- Hedayati, E., Vahedi, M. (2014). Using Extended Finite Element Method for Computation of the Stress Intensity Factor, Crack Growth Simulation and Predicting Fatigue Crack Growth in a Slant-Cracked Plate of 6061-T651 Aluminum. *World Journal of Mechanics*, 4 (1), 24–30. doi: <https://doi.org/10.4236/wjm.2014.41003>
- Aliha, M. R. M., Bahmani, A., Akhondi, Sh. (2016). Mixed mode fracture toughness testing of PMMA with different three-point bend type specimens. *European Journal of Mechanics – A/Solids*, 58, 148–162. doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2016.01.012>
- Wang, Z., Yu, T., Bui, T. Q., Tanaka, S., Zhang, C., Hirose, S., Curiel-Sosa, J. L. (2017). 3-D local mesh refinement XFEM with variable-node hexahedron elements for extraction of stress intensity factors of straight and curved planar cracks. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 313, 375–405. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2016.10.011>
- Dimitri, R., Fantuzzi, N., Li, Y., Tornabene, F. (2017). Numerical computation of the crack development and SIF in composite materials with XFEM and SFEM. *Composite Structures*, 160, 468–490. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.067>
- Liao, Y., Zhang, X., Wang, B., He, M. (2023). Calculations of crack stress intensity factors based on FEM and XFEM models. *Austra-*

- lian *Journal of Mechanical Engineering*, 1–11. doi: <https://doi.org/10.1080/14484846.2023.2207243>
19. *OpenXfem++*. Available at: <https://sourceforge.net/projects/openxfem/>
 20. Khoei, A. R. (2015). *Extended finite element method: theory and applications*. Chichester: John Wiley & Sons, Inc, 584. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118869673>
 21. Mohammadi, S. (2012). *XFEM Fracture Analysis of Composites*. Wiley. doi: <https://doi.org/10.1002/9781118443378>
 22. Khatri, K., Lal, A. (2019). Mixed mode stress intensity factors of slanted edge cracked plate with hole subjected to various in-plane loadings using XFEM. *International Journal of Materials and Structural Integrity*, 13 (1/2/3), 110. doi: <https://doi.org/10.1504/ijmsi.2019.100388>
 23. Laborde, P., Pommier, J., Renard, Y., Salaün, M. (2005). High-order extended finite element method for cracked domains. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 64 (3), 354–381. doi: <https://doi.org/10.1002/nme.1370>
 24. Bordas, S., Nguyen, P. V., Dunant, C., Guidoum, A., Nguyen-Dang, H. (2007). An extended finite element library. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 71 (6), 703–732. doi: <https://doi.org/10.1002/nme.1966>
 25. Dubois-Pe'lerin, Y., Zimmermann, T. (1993). Object-oriented finite element programming: III. An efficient implementation in C++. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 108 (1-2), 165–183. doi: [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(93\)90159-u](https://doi.org/10.1016/0045-7825(93)90159-u)
 26. Sih, G. C., Paris, P. C., Erdogan, F. (1962). Crack-Tip, Stress-Intensity Factors for Plane Extension and Plate Bending Problems. *Journal of Applied Mechanics*, 29 (2), 306–312. doi: <https://doi.org/10.1115/1.3640546>
 27. Chen, W. H., Chen, T. C. (1995). An efficient dual boundary element technique for a two-dimensional fracture problem with multiple cracks. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 38 (10), 1739–1756. doi: <https://doi.org/10.1002/nme.1620381009>

MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.297768

STUDY OF THE FEATURES OF PERMANENT AND USUAL REVERSE-ENGINEERING METHODS OF DETAILS OF COMPLEX SHAPES

pages 19–25

Kateryna Maiorova, PhD, Associate Professor, Head of Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3949-0791>, e-mail: kate.majorova@ukr.net

Oleksandra Kapinus, Postgraduate Student, Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0878-1900>

Oleksandr Skyba, Postgraduate Student, Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1255-2666>

The subject of the study is sustainable reverse engineering and conventional reverse engineering of aviation equipment (AE) samples. The object of the study is the geometric accuracy of the extracted portrait of a part of a complex shape in comparison with the constructed analytical standard (AS). The work is aimed at researching the methods of sustainable reverse engineering and conventional reverse engineering on the example of the digitization of the box of the AE steering machine, chosen as a part of a complex shape. For this, a portrait of the «*.stl» and AS format file was created and compared by performing a control operation with the determination of the time spent. A structural and technological analysis of the box of the AE steering machine was carried out, which showed that the box has through holes of various diameters (from 10 to 41.6 mm) and shapes (square, trapezoidal, round); thin walls between holes (up to 1.6 mm); right angles and their rounding radii (up to 1–4 mm); the thickness of the body walls is 2.4 mm, etc. 3D scanner – ARTEC SPACE SPIDER (Luxembourg) was selected and scanning was performed. According to the analysis of research methods of reverse engineering, it was established that the use of permanent and conventional reverse engineering allows, in the first case, to quickly manufacture a part by 3D printing or milling on CNC machines, and

in the second case, to create its AS with the provision of the specified geometric accuracy. The difference in time between permanent and normal reverse engineering was 8 hours in favor of the former. Control of the ideal portrait according to the AS of the AE steering machine body showed the maximum deviations from –0.30 mm to +0.23 mm and the minimum deviations from –0.04 mm to +0.08 mm. The smallest indicators were observed on vertical and horizontal planes, and the largest – in cities with plane slopes, corners and small radii. This made it possible to establish that the existing capabilities of the Geomagic Design X software for correcting the received portrait of the «*.stl» format file currently do not guarantee the provision of geometric accuracy requirements (up to ±0.5 mm) for the manufacture of an experimental part of a complex shape – the AE steering machine body with 3D printing. The resulting ideal portrait can be used to manufacture a part by milling on CNC machines, taking into account deviations at the stage of process model formation, which can become the topic of further research.

Keywords: stable reverse engineering, reverse engineering, 3D scanning, analytical standard, parts of complex shape.

References

1. Stojkic, Z., Culjak, E., Saravanja, L. (2020). 3D Measurement – Comparison of CMM and 3D Scanner. *Proceedings of the 31st International DAAAM Symposium 2020*. Vienna: DAAAM International, 780–787. doi: <https://doi.org/10.2507/31st.daaam.proceedings.108>
2. Bychkov, I., Seleznova, A., Maiorova, K., Vorobiov, I., Sikulskiy, V. (2022). Requirements development for the information support manufacturing of aerospace products to ensure their quality. *Aerospace Technic and Technology*, 4, 22–35. doi: <https://doi.org/10.32620/akt.2022.4.03>
3. Maiorova, K., Vorobiov, I., Boiko, M., Suponina, V., Komisarov, O. (2021). Implementation of reengineering technology to ensure the predefined geometric accuracy of a light aircraft keel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (114)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246414>
4. Sikulskiy, V., Maiorova, K., Vorobiov, I., Boiko, M., Komisarov, O. (2022). Implementation of reengineering technology to reduce the terms of the technical preparation of manufacturing of aviation technology assemblies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (117)), 25–32. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258550>

5. Bychkov, I. V., Plankoskiy, S. I., Romanov, A. A. (2014). The life cycle of the product and its information support. *Avtomatizatsiia i upravlenie tekhnologicheskimi protsessami i proizvodstvami*, 18 (1 (62)), 149–155.
6. Yurdakul, M., İç, Y. T., Celek, O. E. (2021). Design of the Assembly Systems for Airplane Structures. *Design Engineering and Science*, 521–541. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-49232-8_18
7. Durupt, A., Bricogne, M., Remy, S., Troussier, N., Rowson, H., Belkadi, F. (2018). An extended framework for knowledge modelling and reuse in reverse engineering projects. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233 (5), 1377–1389. doi: <https://doi.org/10.1177/0954405418789973>
8. Montlahuc, J., Ali Shah, G., Polette, A., Pernot, J.-P. (2019). As-scanned Point Clouds Generation for Virtual Reverse Engineering of CAD Assembly Models. *Computer-Aided Design and Applications*, 16 (6), 1171–1182. doi: <https://doi.org/10.14733/cadaps.2019.1171-1182>
9. Stark, R. (2022). Major Technology 6: Digital Mock-Up – DMU. *Virtual Product Creation in Industry*. Berlin, Heidelberg: Springer, 273–304. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-662-64301-3_12
10. Ivanov, V., Dimitrov, L., Ivanova, S., Volkova, M.; Karabegović, I. (Eds.) (2021). Reverse Engineering in the Remanufacturing: Metrology, Project Management, Redesign. *New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol 233. Cham: Springer, 169–176. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_20
11. Toche, B., Pellerin, R., Fortin, C., Huet, G. (2012). Set-Based Prototyping with Digital Mock-Up Technologies. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 299–309. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_26
12. Silva, J. V., Costa, S. L., Puga, H., Peixinho, N., Mendonça, J. P. (2013). Sustainable Reverse Engineering Methodology Assisting 3D Modeling of Footwear Safety Metallic Components. *Vol. 2A: Advanced Manufacturing. San Diego*. doi: <https://doi.org/10.1115/imece2013-65190>
13. Saiga, K., Ullah, A. S., Kubo, A., Tashi. (2021). A Sustainable Reverse Engineering Process. *Procedia CIRP*, 98, 517–522. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.144>
14. *Technical specifications Artec Space Spider*. Available at: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-spider#specifications>
15. Maiorova, K., Sikulskiy, V., Vorobiov, Iu., Kapinus, O., Knyr, A.; Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (Eds.) (2022). Study of a geometry accuracy of the bracket-type parts using reverse engineering and additive manufacturing technologies. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2022. ICTM 2022. Vol. 657*. Kharkiv: National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», 146–158. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36201-9_13
16. Sikulskiy, V., Maiorova, K., Shypul, O., Nickichanov, V., Kapinus, O.; Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (Eds.) (2023). Algorithm for Selecting the Optimal Technology for Rapid Manufacturing and/or Repair of Parts. *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2023. ICTM 2023*. Kharkiv: National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute». (in print)
17. Anwar, M. Y., Ikramullah, S., Mazhar, F. (2014). Reverse engineering in modeling of aircraft propeller blade – first step to product optimization. *IIUM Engineering Journal*, 15 (2). doi: <https://doi.org/10.31436/iiumej.v15i2.497>
18. Guan, G., Wen-Wen, G. (2019). Reconstruction of propeller and complex ship hull surface based on reverse engineering. *Journal of Marine Science and Technology*, 27 (6), 498–504. doi: [https://doi.org/10.6119/JMST.201912_27\(6\).0002](https://doi.org/10.6119/JMST.201912_27(6).0002)
19. Gómez, A., Olmos, V., Racero, J., Ríos, J., Arista, R., Mas, F. (2017). Development based on reverse engineering to manufacture aircraft custom-made parts. *International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems*, 10 (1), 40–58. doi: <https://doi.org/10.1504/ijmms.2017.084406>
20. Dubovska, R., Jambor, J., Majerik, J. (2014). Implementation of CAD/CAM System CATIA V5 in Simulation of CNC Machining Process. *Procedia Engineering*, 69, 638–645. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.037>
21. Hoque, A. S. M., Halder, P. K., Parvez, M. S., Szecsi, T. (2013). Integrated manufacturing features and Design-for-manufacture guidelines for reducing product cost under CAD/CAM environment. *Computers & Industrial Engineering*, 66 (4), 988–1003. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2013.08.016>

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.297732

MATHEMATICAL MODELS CREATION FOR CALCULATING DIMENSIONAL ACCURACY AT THE CONSTRUCTION STAGES OF AN ANALYTICAL STANDARD USING THE CHAIN METHOD

pages 26–34

Iuriy Vorobiov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6401-7790>

Kateryna Maiorova, PhD, Associate Professor, Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3949-0791>, e-mail: kate.maiorova@ukr.net

Iryna Voronko, PhD, Associate Professor, Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: i.voronko@khai.edu, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9689-6977>

Oleksandr Skyba, Postgraduate Student, Department of Aircraft Manufacturing Technologies, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1255-2666>

Oleh Komisarov, Production Director, «Motor Sich» Company, Zaporizhzhia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8429-0521>

The object of research is the process of forming a mathematical model (MM) for calculating accuracy at the stages of construction an analytical standard (AS) using the chain method, the application of which is shown on the example of an aviation object (AO). The analysis of the investigated AO, namely the helicopter stabilizer, was carried out using modern 3D scanners and the creation of its analytical portrait (AP). The problem is to create the most similar AP and compare it with AS, taking into account the results of the calculations. The following results were obtained: the AS was built and the AP of the stabilizer geometry was created, a comparative analysis of the AP and AS was carried out, and the results of the accuracy of the object geometry calculations were obtained. Aerodynamic calculations of stabilizer characteristics were also carried out, analysis of standardized aerodynamic profiles was carried out taking into account the accepted limitations for forming the stabilizer AS. The scientific and practical novelty of the obtained results is as follows: the created MM for calculating the accuracy of the dimensions of the unit contour using the chain method made it possible

to estimate the tying errors that occur when using the loft-template method. This made it possible to choose equipment and software for construction the AS stabilizer. The selection of improved values of the object's aerodynamic characteristics made it possible to build an AS based on the standardized NACA 0012 profile. This can be used as an information basis for the organization of small-scale production of the object under study. That is, in general, the process of reverse engineering made it possible to conduct a detailed analysis of sections, aerodynamic characteristics and improve them for the future improved profile. This design approach provides wider opportunities, eliminates intermediate links and maintains high accuracy of object parameters during its manufacture, which is one of the main requirements in aircraft construction.

Keywords: loft-template method, reverse engineering, aerodynamic profile, analytical portrait, dimensional chain.

References

- Miah, H., Chand, D. S., Malhi, G. S. (2023). Research on key characteristics of aircraft product assembly process to improve assembly accuracy. *Recent Advances in Material, Manufacturing, and Machine Learning*, 352–358. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003358596-37>
- Najmon, J. C., Raeisi, S., Tovar, A. (2019). Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry. *Additive Manufacturing for the Aerospace Industry*, 7–31. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814062-8.00002-9>
- Shiping Zhu, Yang Gao. (2010). Noncontact 3-D Coordinate Measurement of Cross-Cutting Feature Points on the Surface of a Large-Scale Workpiece Based on the Machine Vision Method. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 59 (7), 1874–1887. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2009.2030875>
- Kryvtsov, V. S., Vorobiov, Yu. A., Bukin, Yu. M. et al. (2009). *Tekhnologhiia vyrobnytstva litalnykh aparativ (skladalno-montazhni roboty)*. Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t «Khark. aviats. in-t», 80.
- Campbell, F. C. (2006). *Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials*. Elsevier Ltd., 600. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-1-85617-495-4.x5000-8>
- Maiorova, K., Sikulskiy, V., Vorobiov, I., Kapinus, O., Knyr, A. (2023). Study of a Geometry Accuracy of the Bracket-Type Parts Using Reverse Engineering and Additive Manufacturing Technologies. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 146–158. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-36201-9_13
- Maiorova, K., Vorobiov, I., Andriev, O., Lupkin, B., Sikulskiy, V. (2022). Forming the geometric accuracy and roughness of holes when drilling aircraft structures made from polymeric composite materials. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (1 (116)), 71–80. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254555>
- Vorkapić, M. (2023). Implementation of RE in the 6R Strategy in Considering the Sustainable Development of Parts for the Aviation Industry Using Additive Technologies. *Sustainable Aviation*, 369–375. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-42041-2_47
- DSTU 8540:2015. *Prokat lystovyi hariachekatanyi. Sortiment* (2016). Chynnyi vid 01.07.2016. Kyiv: Natsionalnyi standart Ukrainy, 39.
- Adamenko, Yu. I., Herasymchuk, O. M., Maidaniuk, S. V., Minitska, N. V., Pasichnyk, V. A., Plivak, O. A. (2016). *Dopusky, posadky ta tekhnichni vymiruvannia. Praktykum. Chastyna 1*. Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 164.
- Adamenko, Yu. I., Herasymchuk, O. M., Maidaniuk, S. V., Minitska, N. V., Pasichnyk, V. A., Plivak, O. A. (2016). *Dopusky, posadky ta tekhnichni vymiruvannia. Praktykum. Chastyna 2*. Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 188.
- Nikolenko, Ye. Yu., Tkachov, Yu. V. (2006). *Osnovy tekhnologii vyrobnytstva raketno-kosmichnykh litalnykh aparativ*. Dnipropetrovsk: RVV DNU, 116.
- Subsonic Airfoil Development System: XFOIL*. Available at: <https://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/>
- Gopalakrishnan Meena, M., Taira, K., Asai, K. (2017). Low Reynolds number wake modification using a Gurney flap. *55th AIAA Aerospace Sciences Meeting*. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2017-0543>

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298600

DETERMINATION OF THE FEATURES OF INTEGRATED DESIGNING OF CIVIL LONG-RANGE AIRCRAFT WITH TRANSONIC TRUSS-BRACED WING AT THE PRELIMINARY DESIGN STAGE

pages 35–42

Valentyn Pelykh, Postgraduate Student, Department of Aircraft Designing, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine; Design Engineer, Department of Strength, State Concern «Motor-Sich», DB named after I. Sikorskyi, Zaporizhzhia, Ukraine; Lecturer, Department of Aircraft Design Disciplines, Zaporizhzhia Aviation Vocational College named after O. H. Ivchenko, Zaporizhzhia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5301-6697>, e-mail: venator.verba@gmail.com

Volodymyr Andryushchenko, Senior Researcher, PhD, Associate Professor, Department of Aircraft Designing, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1013-3803>

The object of research is a civil mainline aircraft with a transonic truss-braced wing. The problem of designing an aircraft of this scheme at the preliminary design stage is being solved in the work. The results of the work include the concept of designing aircraft with a transonic truss-braced wing, the main advantages of such a scheme, the process of determining the geometric parameters of the truss-braced, features of the preliminary design of an aircraft with an extremely high aspect ratio truss-braced wing, possible approaches to the arrangement of units and their mutual arrangement. The results are explained by the difference in the design model (the cantilever beam is replaced by a beam on two supports) in mass analysis and the increased wing aspect ratio in aerodynamic calculation. The final data are based on a statistical study to determine the basic geometric parameters of assemblies of modern mainline passenger aircraft, synthesis of parameters of analog aircraft. For example, an aircraft capable of carrying 250 passengers over a distance of 13.000 km is considered. In the design process, values of aspect ratio, taper ratio, wing area, vertical tail and horizontal tail area ratio, and fuselage dimensions are accepted. Drawings of the general appearance of the aircraft have been developed and, based on it, a master geometry of the theoretical contour has been constructed. Graphs of first-order polar and maximum lift-to-drag ratio have been plotted, the reduction of aerodynamic drag in percentage terms has been determined, and the increase in aerodynamic lift-to-drag ratio in percentage terms for an aircraft with an extremely high aspect ratio truss-braced wing compared to similar characteristics of an aircraft with a conventional non-braced wing has been calculated. The approximate mass savings when using a truss-braced wing on the aircraft are determined in percentage terms. The expediency of using wings of greater aspect ratio, than modern aircraft currently have, has been justified. The expediency of using a brace for the aircraft with an extremely high aspect ratio wing has been justified. The obtained results can be used

in practice in the process of developing the preliminary design of an aircraft with a truss-braced wing or in the modifications of existing aircraft to increase their fuel efficiency or increase the durability of wing elements due to reduced loads acting on them.

Keywords: mainline aircraft, truss-brace, zero approximation, preliminary design, master geometry, statistical study, aerodynamic efficiency and mass efficiency.

References

1. Ting, E., Reynolds, K. W., Nguyen, N. T., Totah, J. (2014). Aerodynamic Analysis of the Truss-Braced Wing Aircraft Using Vortex-Lattice Superposition Approach. *32nd AIAA Applied Aerodynamics Conference*. Atlanta, Reston. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2014-2597>
2. Allen, T., Sexton, B., Scott, M. J. (2015). SUGAR Truss Braced Wing Full Scale Aeroelastic Analysis and Dynamically Scaled Wind Tunnel Model Development. *56th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*. Kissimmee, Reston. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2015-1171>
3. Gur, O., Bhatia, M., Mason, W. H., Schetz, J. A., Kapania, R. K., Nam, T. (2011). Development of a framework for truss-braced wing conceptual MDO. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 44 (2), 277–298. doi: <https://doi.org/10.1007/s00158-010-0612-9>
4. Harrison, N. A., Gatlin, G. M., Viken, S. A., Beyar, M., Dickey, E. D., Hoffman, K., Reichenbach, E. Y. (2020). Development of an Efficient M=0.80 Transonic Truss-Braced Wing Aircraft. *AIAA Scitech 2020 Forum*. Orlando, Reston. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2020-0011>
5. Gur, O., Bhatia, M., Mason, W., Schetz, J., Kapania, R., Nam, T. (2010). Development of Framework for Truss-Braced Wing Conceptual MDO. *51st AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference 18th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference 12th*. Orlando, Reston. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2010-2754>
6. Hosseini, S., Ali Vaziri-Zanjani, M., Reza Ovesy, H. (2020). Conceptual design and analysis of an affordable truss-braced wing regional jet aircraft. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*. doi: <https://doi.org/10.1177/0954410020923060>
7. Lee, K., Nam, T., Kang, S. (2017). Propulsion System Modeling and Reduction for Conceptual Truss-Braced Wing Aircraft Design. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 18 (4), 651–661. doi: <https://doi.org/10.5139/ijass.2017.18.4.651>
8. Ting, E., Chaparro, D., Nguyen, N. T. (2017). Development of an Integrated Nonlinear Aeroservoelastic Flight Dynamic Model of the Truss-Braced Wing Aircraft. *58th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*. Grapevine, Reston. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2017-1815>
9. Wells, D. P. (2017). Cruise Speed Sensitivity Study for Transonic Truss Braced Wing. *55th AIAA Aerospace Sciences Meeting*. Grapevine, Reston. doi: <https://doi.org/10.2514/6.2017-1628>
10. Mialitca, A. K., Malashenko, L. A., Grebenikov, A. G. et al. (2010). *Razrabotka avanproekta samoleta*. Kharkiv: Natc. aerokosm. un-t «Khark. aviatic. in-t», 233.
11. Poliakov, V. S., Andryushchenko, V. M., Topal, M. S. (2024). *Vyznachennia parametriv litaka v nulovomu nablyzhenni*. Kharkiv: Nats. aerokosm. un-t «Kharkiv. aviatic. in-t», 201.
12. Eremenko, S. M. (2019). *Aerodinamika letatelnykh apparatov*. Kharkiv: Natc. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «Kharkiv. aviatic. in-t», 384.
13. Fedorova, N. N., Valger, S. A., Danilov, M. N., Zakharova, Iu. V. (2017). *Osnovy raboty v ANSYS 17*. DMK Press, 210.
14. *Raschet kryla samoleta na staticheskuu prochnost i zhestkost* (2009). GOUVPO «KnAGTU», 90.
15. Voit, E. S., Endogur, A. I., Melik-Sarkisian, Z. A., Aliavdin, I. M. (1987). *Proektirovanie konstrukcii samoletov*. Mashinostroenie, 416.
16. Evseev, L. A. (1985). *Raschet na prochnost kryla bolshogo udlineniia*. Kharkiv: Khark. aviatic. in-t, 106.
17. Fomichev, P. A., Zarutckii, A. V., Mandziuk, S. F. (2017). *Raschet na prochnost samoleta. Ch. 1*. Kharkov: Natc. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «Kharkiv. aviatic. in-t», 165.
18. Chepurnykh, I. V. (2013). *Prochnost konstrukcii letatelnykh apparatov*. FGBOU VPO «KnAGTU», 137.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298795

THE ENHANCING ENERGY EFFICIENCY IN HYPERTHERMIA TREATMENT: A FREQUENCY-RECONFIGURABLE L-SHAPE ANTENNA DESIGN AND ANALYSIS

pages 43–50

Segun Akinola, Doctor of Electrical/Electronic Engineering, Johannesburg Business School, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa, e-mail: akinolaa@uj.ac.za, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1565-7825>

Reddy Leelakrishna, Professor, Department of Physics, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5922-6096>

The object of research is a frequency-reconfigurable L-Shape antenna. This paper presents an innovative study focusing on the design and analysis of a frequency-reconfigurable L-Shape antenna with a specific application in Hyperthermia Treatment. The antenna, operating in the frequency range of 2.5 to 8 GHz, utilizes

a varactor to achieve agility and simplify design, thereby reducing component count. Constructed with a Rogers RT5880 (lossy) substrate, the L-Shape configuration ensures optimal performance. The incorporation of a single varactor, acting as a junction capacitance, not only enables straightforward tuning but also contributes to enhanced energy efficiency by reducing overall power consumption in the reconfigurable antenna system. The study employed CST Microwave Studio's 3D Electromagnetic field simulation software for time domain solver-based simulations, with validation conducted using the frequency domain solver. Results from the simulations showcase the antenna's performance at different frequency states.

At the tuning state frequency of 2.7 GHz, the antenna exhibits an impressive gain of 1.905 dB and a directivity of 7.530 dB. Similarly, at the tuning state frequency of 6.89 GHz, the gain is measured at 6.806 dB with a directivity of 7.490 dB. The proposed L-Shape antenna design not only demonstrates significant potential for Hyperthermia Treatment, allowing targeted heating within the 2.5 to 8 GHz frequency range but also aligns with the multidisciplinary focus of medical science. This contribution reflects the commitment

to advancing medical science through original research, fostering innovation, and promoting energy-efficient solutions with practical applications in clinical settings.

Keywords: frequency reconfigurable, antenna, bandwidth, hyperthermia treatment, gain, varactor, directivity.

References

1. Naveen Kumar, M., Venkata Narayana, M., Immadi, G., Satyanarayana, P., Navya, A. (2023). Analysis of a low-profile, dual band patch antenna for wireless applications. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 7 (2), 171–186. doi: <https://doi.org/10.3934/electreng.2023010>
2. Hum, S. V., Perruisseau-Carrier, J. (2014). Reconfigurable Reflectarrays and Array Lenses for Dynamic Antenna Beam Control: A Review. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62 (1), 183–198. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2013.2287296>
3. Songnan Yang, Chunna Zhang, Pan, H. K., Fathy, A. E., Nair, V. K. (2009). Frequency-Reconfigurable Antennas for Multiradio Wireless Platforms. *IEEE Microwave Magazine*, 10 (1), 66–83. doi: <https://doi.org/10.1109/mmm.2008.930677>
4. Aboufoul, T., Parini, C., Chen, X., Alomainy, A. (2013). Pattern-Reconfigurable Planar Circular Ultra-Wideband Monopole Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61 (10), 4973–4980. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2013.2274262>
5. Bayraktar, O., Civi, O. A., Akin, T. (2012). Beam Switching Reflectarray Monolithically Integrated With RF MEMS Switches. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 60 (2), 854–862. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2011.2173099>
6. Christodoulou, C. G., Tawk, Y., Lane, S. A., Erwin, S. R. (2012). Reconfigurable Antennas for Wireless and Space Applications. *Proceedings of the IEEE*, 100 (7), 2250–2261. doi: <https://doi.org/10.1109/jproc.2012.2188249>
7. Haupt, R. L., Lanagan, M. (2013). Reconfigurable Antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 55 (1), 49–61. doi: <https://doi.org/10.1109/map.2013.6474484>
8. Alhamad, R., Almajali, E., Mahmoud, S. (2023). Electrical Reconfigurability in Modern 4G, 4G/5G and 5G Antennas: A Critical Review of Polarization and Frequency Reconfigurable Designs. *IEEE Access*, 11, 29215–29233. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2023.3260073>
9. Ying, K., Gao, Z., Chen, S., Gao, X., Matthaiou, M., Zhang, R., Schober, R. (2024). Reconfigurable Massive MIMO: Harnessing the Power of the Electromagnetic Domain for Enhanced Information Transfer. *IEEE Wireless Communications*, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1109/mwc.014.2200418>
10. Sexton, C., Kaminski, N. J., Marquez-Barja, J. M., Marchetti, N., DaSilva, L. A. (2017). 5G: Adaptable Networks Enabled by Versatile Radio Access Technologies. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19 (2), 688–720. doi: <https://doi.org/10.1109/comst.2017.2652495>
11. van der Zee, J. (2002). Heating the patient: a promising approach? *Annals of Oncology*, 13 (8), 1173–1184. doi: <https://doi.org/10.1093/annonc/mdf280>
12. Datta, N. R., Rogers, S., Ordóñez, S. G., Puric, E., Bodis, S. (2015). Hyperthermia and radiotherapy in the management of head and neck cancers: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Hyperthermia*, 32 (1), 31–40. doi: <https://doi.org/10.3109/02656736.2015.1099746>
13. Franckena, M., Lutgens, L. C., Koper, P. C., Kleynen, C. E., van der Steen-Banasik, E. M., Jobsen, J. J., Leer, J. W., Creutzberg, C. L., Dielwart, M. F., van Norden, Y., Canters, R. A. M., van Rhooon, G. C., van der Zee, J. (2009). Radiotherapy and Hyperthermia for Treatment of Primary Locally Advanced Cervix Cancer: Results in 378 Patients. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*Physics*, 73 (1), 242–250. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2008.03.072>
14. Seynhaeve, A. L. B., Amin, M., Haemmerich, D., van Rhooon, G. C., ten Hagen, T. L. M. (2020). Hyperthermia and smart drug delivery systems for solid tumor therapy. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 163-164, 125–144. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2020.02.004>
15. Chang, M., Hou, Z., Wang, M., Li, C., Lin, J. (2020). Recent Advances in Hyperthermia Therapy-Based Synergistic Immunotherapy. *Advanced Materials*, 33 (4). doi: <https://doi.org/10.1002/adma.202004788>
16. Rajebi, S., Ghobadi, C., Nourinia, J., Mostafapour, E. (2019). SAR Enhancement of Slot Microstrip Antenna by Using Silicon Layer in Hyperthermia Applications. *Wireless Personal Communications*, 111 (3), 1761–1774. doi: <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06955-1>
17. Chishti, A. R., Aziz, A., Aljaloud, K., Tahir, F. A., Abbasi, Q. H., Khan, Z. U., Hussain, R. (2023). A sub 1 GHz ultra miniaturized folded dipole patch antenna for biomedical applications. *Scientific Reports*, 13 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36747-4>
18. Rodrigo, D., Cetiner, B. A., Jofre, L. (2014). Frequency, Radiation Pattern and Polarization Reconfigurable Antenna Using a Parasitic Pixel Layer. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 62 (6), 3422–3427. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2014.2314464>
19. Venneri, E., Costanzo, S., Di Massa, G. (2012). Reconfigurable aperture-coupled reflectarray element tuned by single varactor diode. *Electronics Letters*, 48 (2), 68. doi: <https://doi.org/10.1049/el.2011.3691>
20. Nguyen-Trong, N., Hall, L., Fumeaux, C. (2016). A Frequency- and Pattern-Reconfigurable Center-Shorted Microstrip Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15, 1955–1958. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2016.2544943>
21. Chen, W., Lv, G., Liu, X., Wang, D., Ghannouchi, F. M. (2020). Doherty PAs for 5G Massive MIMO: Energy-Efficient Integrated DPA MMICs for Sub-6-GHz and mm-Wave 5G Massive MIMO Systems. *IEEE Microwave Magazine*, 21 (5), 78–93. doi: <https://doi.org/10.1109/mmm.2020.2971183>
22. Nguyen-Trong, N., Piotrowski, A., Fumeaux, C. (2017). A Frequency-Reconfigurable Dual-Band Low-Profile Monopolar Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65 (7), 3336–3343. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2017.2702664>
23. Chen, G., Yang, X.-L., Wang, Y. (2012). Dual-Band Frequency-Reconfigurable Folded Slot Antenna for Wireless Communications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 11, 1386–1389. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2012.2227293>
24. Cetiner, B. A., Crusats, G. R., Jofre, L., Biyikli, N. (2010). RF MEMS Integrated Frequency Reconfigurable Annular Slot Antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 58 (3), 626–632. doi: <https://doi.org/10.1109/tap.2009.2039300>
25. Tu, Z.-H., Li, W.-A., Chu, Q.-X. (2014). Single-Layer Differential CPW-Fed Notch-Band Tapered-Slot UWB Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 13, 1296–1299. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2014.2332355>

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.296725

INVESTIGATION OF DRILL STRING DYNAMICS USING PROBABILISTIC METHODS

pages 51–55

Viktor Seitlytskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineering, Odesa National Technological University, Odesa, Ukraine, e-mail: svetlitsky@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4778-0414>

Sergii Iagodovskyi, PhD, Chairman of the Board, PJSC «DEWON», Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6786-1296>

Iryna Boshkova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineering, Odesa National Technological University, Odesa, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5989-9223>

The object of research is a drill string. The work is directed to the study of the drill string dynamics and its influence on the rock, which is drilled using probabilistic methods.

It is shown that the nature of the vibrations of the top of the drill string and the downhole signals are different and have a stationary random character. It is proved that the process at the output of the drill string, taking into account random disturbances, is narrow-band (quasi-harmonic) or close to it. It is found that the energy composition of the spectrum sections and the appearance of resonance peaks and their displacement is directly determined by the physical and mechanical properties of the rocks being drilled, as one of the factors that determines the vibration state of the drill string. Graphs of the spectral density of the power of pitting vibrations are given, showing their amplification at frequencies of 30–40 Hz as the hardness of the rocks being drilled increases. The maximum of the power density bending curve shifts towards low frequencies. There is a «mutual convergence» of the maxima of the power spectral density of the oscillations of the top and bottom of the drill string. It is shown that an important feature of drill string vibrations in the process of drilling with ball bits is that the intensity of vibrations of the top of the drill string passes with frequencies close to low frequencies, and the vibrations of the bottom of the string – to high frequencies.

It is determined that the process at the output of the drill string, taking into account random disturbances, is narrow-band (quasi-harmonic) or close to it. As a result, the assumption of a narrow band at the output of the system, which is the basis of theoretical research, is justified. It is proven that the drill string, as a system with liquid filling under pressure, is more stable compared to a hollow structure. The washing liquid, in this case, plays the role of a dynamic absorber.

Keywords: drill string, drill string dynamics, impact on rock, nature of oscillations, probabilistic methods.

References

- Ogorodnikov, P. I. (1991). *Upravlenie uglubleniia skvazhin na baze izucheniiia dinamicheskikh protsesov v burilnoi kolone*. MINKhiGP im akad. Gubkina I. P., 421.
- Ullah, F. K., Duarte, F., Bohn, C. (2016). A Novel Backstepping Approach for the Attenuation of Torsional Oscillations in Drill Strings. *Solid State Phenomena*, 248, 85–92. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.248.85>
- Iunin, E. K., Khegai, V. K. (2017). *Dinamika glubokogo bureniia*. Nedra, 285.
- Nikolaenko, H. A. (1967). *Veroiatnostnye metody dinamicheskogo rascheta mashinostroitelnykh konstruktci*. Mashinostroenie, 368.
- Mendil, K., Kiddush, M., Dogman, M. Z. (2020). Modeling of hydrocarbon rotary drilling systems under torsional vibration conditions: a review. *Artificial Intelligence and Renewable Energy Towards the Energy Transition. ICAIRES 2020*. Cham: Springer, 174, 243–251. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-63846-7_24
- Nikolaenko, N. A., Ulianov, C. B. (1977). *Statisticheskaia dinamika mashinostroitelnykh konstruktci*. Mashinostroenie, 368.
- ASTM Standard E756-05, *Standard test method for measuring vibration-damping properties of materials* (2010). ASTM International.
- Kreuzer, E., Steidl, M. (2011). Controlling torsional vibrations of drill strings via decomposition of traveling waves. *Archive of Applied Mechanics*, 82 (4), 515–531. doi: <https://doi.org/10.1007/s00419-011-0570-8>
- Samarin, A. A. (1979). *Vibratcii truboprovodov energeticheskikh ustanovok i metody ikh ustraneniia*. Energiia, 266.
- Saadeldin, R., Gamal, H., Elkhatny, S., Abdulraheem, A. (2021). Intelligent Model for Predicting Downhole Vibrations Using Surface Drilling Data During Horizontal Drilling. *Journal of Energy Resources Technology*, 144 (8). doi: <https://doi.org/10.1115/1.4052794>

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298907

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR PREDICTING GAS-DYNAMIC PHENOMENA ON THE BASIS OF MODERN SOUND-CAPTURING EQUIPMENT

pages 55–61

Vyacheslav Krasnyk, Doctor of Technical Science, Professor, Scientific and Technical Center «Coalinnovation» of the Ministry of Energy of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2539-1840>, e-mail: vgkrasnik@ukr.net

Boris Deglin, PhD, Senior Researcher, Scientific and Technical Center «Coalinnovation» of the Ministry of Energy of Ukraine, Kyiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5944-5193>

The object of the study is the sound accompaniment of the processes of stress redistribution in the bottom part of the coal seam, which precede the release of rock, coal, and gas. Among the hazards of underground coal mining, gas-dynamic phenomena (GDP) are the most complex in nature and the most dangerous in terms of consequences of high dynamic power and the release of a large amount of mechanical energy in the form of fractures and gas in a short period of time. This leads to accidents due to sudden gassing and blockages of workings with coal and rock, as well as explosions of methane and coal dust, destruction of the workings' support, damage to machinery and mechanisms, equipment, and devices. The greatest hazard among GDPs is posed by sudden releases of coal and gas, rock and gas, gas releases with destruction of host rocks and with destruction of the ground of the workings, as well as gas breakthroughs from tectonic fault zones.

Therefore, the accuracy of predicting possible gas-dynamic phenomena significantly affects the level of safety of miners. The acoustic emission (AE) method is used to predict the gas-dynamic activity of a rock massif. The analysis of acoustic emission studies based on

archival data in coal seams subject to gas-dynamic activity has made it possible to substantiate the possibility of improving the accuracy of the forecast of emission hazard, which has a social and economic effect. On the basis of exploratory research and production tests, the software for automated calculations of the GDP forecast was improved and an improved Methodology for forecasting gas-dynamic phenomena based on modern sound-capturing equipment was developed. A scientific justification for the reference interval of AE observations in the conditions of a particular longwall was developed.

The developed software and the forecasting methodology were tested in the conditions of the Tsentralna mine of the Toretskugol State Enterprise (Toretsk, Donetsk region, Ukraine). The practical significance of the work is that a method for predicting explosion hazard has been developed, taking into account the modern capabilities of equipment and methods of input data processing, which allows to increase the productivity of mining and tunneling operations in coal seams without reducing the safety of miners.

Keywords: gas-dynamic phenomena, acoustic emission, signs of gas-dynamic activity zones, manifestations of mining pressure, prediction of GDP.

References

1. Ettinger, I. L. (1969). *Vnezapnye vybrosy uglia i gaza i struktura uglia*. Nedra, 160.
2. He, M., Wang, Q. (2023). Rock dynamics in deep mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 33 (9), 1065–1082. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2023.07.006>
3. Feng, X. T., Chen, B. G., Ming, H. J., Wu, S. Y., Xiao, Y. X., Feng, G. L. et al. (2012). Evolution law and mechanism of rockbursts in deep tunnels: Immediate rockburst. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 31 (3), 433–444.
4. Antciferov, M. S., Konstantinova, A. G., Pereverzev, L. B. (1960). *Seismoakusticheskie issledovaniia v ugolnykh shakhtakh*. Izd-vo AK Nauk Ukrainy, 103.
5. Zhang, J., Wang, M., Zhou, H., Zhang, D., Yu, B., Wang, C., Wang, Y. (2023). Coal and rock dynamic disaster prevention and control technology in the large mining face of a deep outburst mine. *Frontiers of Earth Science*, 17 (3), 701–712. doi: <https://doi.org/10.1007/s11707-022-1060-8>
6. Li, C. C., Mikula, P., Simser, B., Hebblewhite, B., Joughin, W., Feng, X., Xu, N. (2019). Discussions on rockburst and dynamic ground support in deep mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11 (5), 1110–1118. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2019.06.001>
7. Baranov, V., Antipovich, Y., Stefanko, S. (2023). Frictional phenomena in coal mines: reasons, consequences and influence on gas dynamic and thermal phenomena. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3 (102), 5–9. doi: <https://doi.org/10.17721/1728-2713.102.01>
8. Baranov, V. A., Pashchenko, P. S., Stefanko, S. V. (2023). Forecast of tectonic disturbances zones in coal layers. *Geofizicheskii Zhurnal*, 44 (5), 123–133. doi: <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272332>
9. Balkhanov, V. K. (2013). *Osnovy fraktalnoi geometrii i fraktalnogo ischisleniia*. Izdatelstvo BGU, 224.
10. Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 116, 770–799.
11. Hurst, H. E., Black, R. P., Simaika, Y. M. (1965). *Long-term storage: an experimental study*. Constable. London.

**MECHANICS**

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298870

НЕЛІНІЙНИЙ АНАЛІЗ У ЧАСІ ДЛЯ 2D МОДЕЛЮВАННЯ ІСНЮЮЧОЇ БУДІВЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ФОРМУЛ НА ОСНОВІ ГНУЧКОСТІ ТА ПЕРЕМІЩЕНЬ (стор. 6–11)**Mourad Belgasmia, Sabah Moussaoui, Rebadj Chabane**

Об'єктом дослідження є реакція конструкції в часі між формулюваннями, а саме на основі сили (на основі гнучкості) та на основі зміщення.

Це дослідження мало на меті порівняти дві формули, а саме на основі переміщення та на основі сили (на основі гнучкості), щоб показати точність і надійності другої. У випадку нелінійної реакції в часі житлової двоповерхової залізобетонної будівлі, яка є репрезентативною для типового житлового будівництва в Італії в 1970-х і 1980-х роках з метою використання переваг формулювання на основі гнучкості, якщо порівняння виявиться переконливим.

У ході дослідження перший підхід є класичним двовузловим елементом рами Ейлера-Бернуллі на основі переміщень з недоліком дискретизації структури, таким чином збільшуючи кількість ступенів свободи та рівняння, щоб досягти необхідної точності. Іншим є двовузловий силовий елемент каркаса Ейлера-Бернуллі. Основна перевага другого елемента полягає в тому, що він є «точним» у відповідній теорії елемента Фрейму. Це означає, що один елемент на елемент рами (промінь або колону) використовується для підготовки сітки рами, що призводить до зменшення загальної кількості ступенів свободи. Таким чином, зменшується кількість рівнянь, які потрібно вирішити, що призводить до економії часу з підвищеною точністю.

Представлено існуючу двоповерхову залізобетонну конструкцію, яка окремо зазнала трьох землетрусів, щоб провести порівняльне дослідження з точки зору реакції конструкції в часі між двома наведеними вище формулюваннями, а саме на основі сили (на основі гнучкості) та на основі зміщення. У результаті дослідження показано, що при підході, заснованому на гнучкості, не виникає помилки дискретизації, і всі керівні рівняння задовольняються точно, що робить можливість більш простого та швидкого чисельного моделювання. Запропонований підхід матиме велике застосування в області чисельного моделювання завдяки своїй легкості та точності. Ця елегантна формула є перспективною для майбутньої роботи завдяки своїм перевагам.

Ключові слова: на основі гнучкості, на основі переміщення, аналіз у часі, каркасні структури, нелінійний аналіз, елемент каркаса Ейлера-Бернуллі.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298883

ВПЛИВ ПОДВІЙНИХ ПОХИЛИХ ТРІЩИН, ЩО ПЕРЕКРИВАЮТЬСЯ, НА ЗМІШАНІ ФАКТОРИ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУГИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ XFEM (стор. 12–18)**Rebadj Chabane, Sabah Moussaoui, Mourad Belgasmia**

Об'єктом дослідження є коефіцієнт інтенсивності напружень у змішаному режимі (MMSIF) двовимірної (2D) пластини.

З появою сучасних технологій та передових інновацій, які сприяють розвитку та вдосконаленню проектування, реалізація та управління будівельними проектами стали легшими. Однак дуже важко виготовити компоненти без неминучих дефектів, таких як тріщини, які призводять до псування матеріалу та, зрештою, скорочують термін його служби. Заснований на процесі локального збагачення області з використанням концепції розділення єдності, розширений метод скінчених елементів (XFEM), подолав обмеження стандартного методу FEM з погляду моделювання та чисельного моделювання розривів (тріщин), отримавши при цьому свої загальні переваги. Це робить XFEM потужним і широко використовуваним цифровим інструментом в останні роки. Однією з найбільш часто порушуваних проблем у сфері розривів (тріщин) є явище юстапозиції множинних тріщин у тріщинуватій ізотропній пластині, яке необхідно досліджувати для визначення ступеня його впливу на коефіцієнт інтенсивності напружень тріщини з метою отримання вищої надійності безпеки. На цій основі було використано покращене об'єктно-орієнтоване програмування (ООП) із розширеними скінченими елементами через його велике значення та добре відомі переваги.

В роботі визначено MMSIF 2D пластини, щоб показати ефект протифазної орієнтації кута, а також ефект юстапозиції двох похилих тріщин. У результаті дослідження було показано, що збіжність між результатами, отриманими в цьому дослідженні, з тими, що повідомляються в літературі, і з теоретичними значеннями є чудовою, і було відзначено їх близький збіг. У майбутньому, на основі характеристик об'єктно-орієнтованого підходу, представлених гнучкістю, масштабованістю та модульністю, які були пояснені в цьому дослідженні, цей запропонований підхід може бути збагачений, щоб включати гетерогенне моделювання матеріалів, будь то лінійне чи нелінійне поширення тріщин у динаміці, на додаток до складних 3D промислових задач.

Ключові слова: розширений метод кінцевих елементів (XFEM), коефіцієнт інтенсивності напружень змішаного режиму (MMSIF), похила центральна тріщина, ефект перекриття.

MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.297768

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕТОДІВ СТАЛОГО ТА ЗВИЧАЙНОГО РЕВЕРС-ІНЖИНІРИНГУ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНИХ ФОРМ (стор. 19–25)**Майорова К. В., Калікус О. О., Скиба О. С.**

Предметом вивчення є сталій реверс-інжиніринг та звичайний реверс-інжиніринг зразків авіаційної техніки (АТ). Об'єктом дослідження є геометрична точність видобутого портрету деталі складної форми в порівнянні з побудованим аналітичним еталоном (АЕ). Робота направлена на дослідження методів сталого реверс-інжинірингу та звичайного реверс-інжинірингу на прикладі оцифрування корпусу рулевої машини АТ, обраною як деталь складної форми. Для цього було створено портрет файлу формату

«*.stl» і АЕ та порівняно їх шляхом виконання операції контролю з визначенням витраченого часу. Проведено конструктивно-технологічний аналіз корпусу рулевої машини АТ, який показав, що корпус має наскрізні отвори різних діаметрів (від 10 до 41,6 мм) і форм (квадратні, трапецієвидні, круглі); тонкі стінки між отворами (до 1,6 мм); прямі кути та радіуси закруглення в них (до 1–4 мм); товщину стінок корпусу 2,4 мм тощо. Підібрано 3D-сканер – ARTEC SPACE SPIDER (Luxembourg) та виконано сканування. Згідно аналізу дослідних методів реверс-інжинірингу встановлено, що використання сталого та звичайного реверс-інжинірингів дозволяє в першому випадку швидко виготовити деталь за 3D-друком або фрезеруванням на станках з ЧПК, а в другому – створити її АЕ з забезпеченням заданої геометричної точності. Різниця в часі між сталим та звичайним реверс-інжинірингом становила 8 годин на користь першого. Контроль ідеального портрету за АЕ корпусу рулевої машини АТ показав максимальні відхилення від $-0,30$ мм до $+0,23$ мм і мінімальні – від $-0,04$ мм до $+0,08$ мм. Найменші показники спостерігалися на вертикальних і горизонтальних площинах, а найбільші – в місцях нахилів площин, кутів і маленьких радіусів. Це дало змогу встановити, що існуючі можливості програмного забезпечення Geomagic Design X щодо корекції отриманого портрету файлу формату «*.stl» на даний час не гарантує забезпечення вимог геометричної точності (до $\pm 0,5$ мм) на виготовлення дослідної деталі складної форми – корпусу рулевої машини АТ 3D-друком. Отриманий ідеальний портрет можна використовувати для виготовлення деталі фрезеруванням на станках з ЧПК з урахуванням відхилень на етапі формування моделі процесів, що може стати темою наступних досліджень.

Ключові слова: сталий реверс-інжиніринг, реверс-інжиніринг, 3D-сканування, аналітичний еталон, деталі складної форми.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.297732

СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ РОЗМІРІВ НА ЕТАПАХ ПОБУДОВИ АНАЛІТИЧНОГО ЕТАЛОНА ЗА МЕТОДОМ ЛАНЦЮГІВ (стор. 26–34)

Воробйов Ю. А., Майорова К. В., Воронько І. О., Скиба О. С., Комісаров О. Л.

Об'єктом дослідження є процес формування математичної моделі (ММ) розрахунку точності на етапах побудови аналітичного еталона (АЕ) за методом ланцюгів, застосування якої показано на прикладі авіаційного об'єкта (АО). Проведено аналіз досліджуваного АО, а саме стабілізатора вертольота, за допомогою сучасних 3D сканерів та створення його аналітичного портрета (АП). Проблема полягає в створенні максимально подібного АП та порівнянні його з АЕ, урахуваючи результати розрахунків. Отримано такі результати: побудовано АЕ та створено АП геометрії стабілізатора, проведено порівняльний аналіз АП та АЕ, отримано результати точності розрахунків геометрії об'єкта. А також проведено аеродинамічні розрахунки характеристик стабілізатора, проведено аналіз стандартизованих аеродинамічних профілів з урахуванням прийнятних обмежень для формування АЕ стабілізатора. Наукова й практична новизна отриманих результатів полягає в наступному: створена ММ розрахунку точності розмірів контуру агрегату за методом ланцюгів дала можливість оцінити похибки ув'язування, які виникають під час використання плазово-шаблонного метода. Це дозволило підібрати обладнання та програмне забезпечення для побудови АЕ стабілізатора. Підбір покращених значень аеродинамічних характеристик об'єкта дав можливість збудувати АЕ на базі стандартизованого профілю НАСА 0012. Це може бути використано як інформаційну основу для організації дрібносерійного виробництва досліджуваного об'єкта. Тобто, в цілому, процес реверс-інжинірингу дозволив провести детальний аналіз перерізів, аеродинамічних характеристик та покращити їх для майбутнього удосконаленого профілю. Такий підхід при проектуванні дає ширші можливості, ліквідує проміжні ланки та зберігає високу точність параметрів об'єкта при його виготовленні, що є одним з основних вимог в авіабудівництві.

Ключові слова: плазово-шаблонний метод, реверс-інжиніринг, аеродинамічний профіль, аналітичний портрет, розмірний ланцюг.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298600

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ІНТЕГРОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЦИВІЛЬНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ ЛІТАКІВ З ТРАНСЗВУКОВИМ КРИЛОМ З ПІДКОСОМ НА ЕТАПІ РОЗРОБКИ АВАНПРОЕКТУ (стор. 35–42)

Пельх В. П., Андрущенко В. М.

Об'єктом дослідження є цивільний магістральний літак з трансзвуковим крилом з підкосом. У роботі вирішується проблема проектування літака даної схеми на етапі розробки аванпроекту. Результатами роботи є концепція проектування літаків з трансзвуковим крилом з підкосом, показані основні переваги такої схеми, процес визначення геометричних параметрів підкосу, особливості розробки аванпроекту літака з крилом надвеликого подовження з підкосом, можливі підходи до розміщення агрегатів та їх взаємного розташування. Результати пояснюються відмінністю розрахункової схеми (консольна балка замінена на балку на двох опорах) в масовому аналізі та збільшеним подовженням крила в аеродинамічному розрахунку. Остаточні дані засновано на статистичному дослідженні по визначенню основних геометричних параметрів агрегатів сучасних пасажирських магістральних літаків, синтезом параметрів літаків-аналогів. Для прикладу розглянуто літак, здатний перевозити 250 пасажирів на відстань 13000 км. В процесі проектування прийнято значення подовження, звуження, площі крила, відносних площ горизонтального (ГО) та вертикального оперення (ВО), розмірів фюзеляжу. Розроблено креслення загального вигляду літака та на його основі побудовано майстер-геометрію теоретичного контуру. Побудовано графіки поляр першого роду та максимальної аеродинамічної якості, визначено зменшення аеродинамічного супротиву у відсотках, а також розраховано збільшення аеродинамічної якості у відсотках для літака з крилом надвеликого подовження з підкосом порівняно з аналогічними характеристиками літака з класичним крилом без підкосу. Визначено у відсотках приблизну економію маси при використанні на літаку крила з підкосом. Обґрунтовано доцільність використання крил більшого подовження, ніж мають сучасні літаки на даний момент. Обґрунтовано доцільність використання підкосу для літака з крилом надвеликого подовження. Отримані результати можуть бути використані на практиці в процесі розробки аванпроекту літака з крилом з підкосом або в рамках модернізації вже існуючих літальних апаратів з метою підвищення їх паливної ефективності, чи збільшення довговічності елементів крила внаслідок зменшення діючого на них навантаження.

Ключові слова: магістральний літак, підкіс, нульове наближення, попереднє проектування, майстер-геометрія, статистичне дослідження, аеродинамічна та масова ефективність.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298795

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИ ЛІКУВАННІ ГІПЕРТЕРМІЇ: РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ЧАСТОТНО-ПЕРЕСТРОЮВАНОЇ L-ПОДІБНОЇ АНТЕНИ (стор. 43–50)

Segun Akinola, Reddy Leelakrishna

Об'єктом дослідження є частотно-перестроювана L-подібна антена. У цій роботі представлено інноваційне дослідження, присвячене розробці та аналізу частотно-перестроюваної L-подібної антени з конкретним застосуванням у лікуванні гіпертермії. Антена, що працює в діапазоні частот від 2,5 до 8 ГГц, використовує варактор для досягнення гнучкості та спрощення конструкції, тим самим зменшуючи кількість компонентів. Конфігурація L-подібної форми, побудована на підкладці Rogers RT5880 (з втратами), забезпечує оптимальну продуктивність. Включення одного варактора, що діє як перехідна ємність, не тільки забезпечує просте налаштування, але й сприяє підвищенню енергоефективності за рахунок зменшення загального енергоспоживання в антенній системі, що переналаштовується. У дослідженні було використано програмне забезпечення CST Microwave Studio для моделювання електромагнітного поля в 3D на основі розв'язувача в часовій області, а валідація проводилася за допомогою розв'язувача в частотній області. Результати моделювання демонструють роботу антени в різних частотних режимах.

На частоті стану налаштування 2,7 ГГц антена демонструє вражаючий коефіцієнт підсилення 1,905 дБ і спрямованість 7,530 дБ. Аналогічно, на частоті стану налаштування 6,89 ГГц коефіцієнт підсилення становить 6,806 дБ, а коефіцієнт спрямованості – 7,490 дБ. Запропонована L-подібна конструкція антени не тільки демонструє значний потенціал для лікування гіпертермії, дозволяючи цілеспрямоване нагрівання в діапазоні частот від 2,5 до 8 ГГц, але й узгоджується з мультидисциплінарним фокусом медичної науки. Цей внесок відображає прагнення розвивати медичну науку за допомогою оригінальних досліджень, сприяння інноваціям та просуванню енергоефективних рішень, що мають практичне застосування в клінічних умовах.

Ключові слова: частота, що переналаштовується, антена, смуга пропускання, лікування гіпертермії, коефіцієнт підсилення, варактор, коефіцієнт спрямованості.

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.296725

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЙМОВІРНОСТНИХ МЕТОДІВ (стор. 51–55)

Світлицький В. М., Ягодівський С. І., Бошкова І. Л.

Об'єктом дослідження є бурильна колона. Робота направлена на дослідження динаміки бурильної колони та її вплив на породу, що розбурюється ймовірністними методами.

Показано, що характер коливань верху бурильної колони та вибійних сигналів відрізняються та несуть стаціонарний випадковий характер. Доведено, що процес на виході бурильної колони, з врахуванням випадкових збурень, є вузькосмуговим (квазігармонічним) або близьким до нього. Виявлено, що енергетичний склад ділянок спектру та поява резонансних піків і їх зміщення безпосередньо визначається фізико-механічними властивостями порід, які розбурюються, як один із факторів, який визначає відростан бурильної колони. Наведено графіки спектральної щільності потужності вибійних коливань, що показують їх підсилення на частотах 30–40 Гц по ходу збільшення твердості порід, які розбурюються. Максимум згинаючої кривої щільності потужності зміщується у сторону низьких частот. Проходить «взаємне зближення» максимумів спектральної щільності потужності коливань верху та низу бурильної колони. Показано, що важливою особливістю коливань бурильної колони в процесі буріння шарошковими долотами є те, що інтенсивність коливань верху бурильної колони проходить з частотами, близькими до низьких частот, а коливання низу колони – до високих частот.

Визначено, що процес на виході бурильної колони, з врахуванням випадкових збурень є вузькосмуговим (квазігармонічним) або близьким до нього. Як наслідок, припущення про вузькосмуговість на виході системи, яке покладено в основу теоретичних досліджень, є виправданим. Доведено, що бурильна колона, як система з рідким заповненням під тиском, більш стійка порівняно з пустоїлою конструкцією. Промивальна рідина, у цьому випадку, грає роль динамічного поглинача.

Ключові слова: бурильна колона, динаміка бурильної колони, вплив на породу, характер коливань, ймовірністні методи.

DOI: 10.15587/2706-5448.2024.298907

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ НА БАЗІ СУЧАСНОЇ ЗВУКОУЛОВЛЮЮЧОЇ АПАРАТУРИ (стор. 55–61)

Красних В. Г., Деглін Б. М.

Об'єктом дослідження є звукове супроводження процесів перерозподілу напружень у привибійній частині вугільного пласта, які передують викидам породи, вугілля та газу. Серед небезпечних чинників підземного видобутку вугілля газодинамічні явища (ГДЯ) являють собою найскладніші за природою та найнебезпечніші за наслідками явища високої динамічної потужності та виділення великої кількості механічної енергії у вигляді руйнувань та газу за короткий проміжок часу. Це призводить до виникнення аварій внаслідок раптової загазованості та завалів виробок вугіллям і породою, а також вибухів метану та вугільного пилу, руйнування кріплення виробок, пошкодження машин і механізмів, обладнання, приладів. Найбільшу небезпеку серед ГДЯ становлять раптові викиди вугілля та газу, породи та газу, викиди газу з руйнуванням вміщуючих порід і з руйнуванням ґрунту виробки, а також прориви газу із зон тектонічних порушень.

Тому точність прогнозування можливих газодинамічних явищ суттєво впливає на рівень безпеки шахтарів. Для прогнозу газодинамічної активності гірського масиву використовується метод акустичної емісії (АЕ). Проведений аналіз досліджень акустичної емісії на основі архівних даних у вугільних пластах, схильних до газодинамічної активності, дозволив обґрунтувати можливість

підвищення точності прогнозу викидонебезпеки, що має соціальний та економічний ефект. На основі пошукових досліджень і виробничих випробувань доопрацьовано програмне забезпечення для автоматизованих розрахунків прогнозу ГДЯ та розроблена удосконалена методика прогнозу газодинамічних явищ на базі сучасної звукоуловлювальної апаратури. Розроблено наукове обґрунтування реперного інтервалу спостережень за АЕ в умовах конкретної лави.

Проведено випробування розробленого програмного забезпечення та Методики прогнозу в умовах шахти «Центральна» державного підприємства «Торецьквугілля» (м. Торецьк, Донецька область, Україна). Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблено метод прогнозування вибухонебезпеки з урахуванням сучасних можливостей апаратури та методів обробки вхідних даних, що дозволяє підвищити продуктивність гірничих і прохідницьких робіт на вугільних пластах без зниження безпеки гірників.

Ключові слова: газодинамічні явища, акустична емісія, ознаки зон газодинамічної активності, прояви гірничого тиску, прогнозування ГДЯ.