

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215167

**DISCOVERING THE MECHANISMS THAT FORM THE AUXETIC PROPERTIES OF SINGLE CRYSTALS IN A MONOCLINIC CRYSTAL SYSTEM (p. 6–13)****Mykola Raransky**Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2755-0251>**Alla Oliinych-Lysiuk**Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7029-971X>**Roman Tashchuk**Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1951-5832>**Mykhailo Unhurian**Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1564-4357>

This paper reports the analysis of patterns and mechanisms that form the characteristic surfaces of the Young modulus, the angular distributions of Poisson coefficients, and the pointing surfaces of auxeticity of single crystals in cubic, hexagonal, tetragonal, and rhombic crystal system. The crystals have been detected that can reach the limit negative values predicted by the classical elasticity theory for isotropic environments. It was found that near the points of phase transition or melting temperatures, the pointing surfaces of auxeticity rapidly increase, thereby turning the crystals into absolute auxetics. It is shown that an array of negative Poisson coefficient values forms an image of the pointing surfaces of auxeticity. It is established that a reduction in the symmetry of crystals increases the number of crystallographic directions along which crystals gradually turn from “partial” to “mixed” or even “absolute” auxetics.

An analysis of the anisotropy of elastic properties, characteristic surfaces of the Young modulus, and the pointing surfaces of auxeticity has revealed that most single crystals of the highest and middle category barely reach the minimum limit values of Poisson coefficients. Therefore, in order to obtain more reliable auxetic materials with high impact-energy and seismic-resistant characteristics, it is necessary to investigate the anisotropy of elastic properties of low-category single crystals. The characteristic surfaces of the Young modulus have been constructed.

The volumetric images of the angular distributions of Poisson coefficients of the examined single crystals have been built, which make it possible to determine the absolute values and crystallographic orientation of the maximum and minimum values of Poisson coefficients. The pointing surfaces of the auxeticity of the studied single crystals have been constructed.

**Keywords:** axial, non-axial auxeticity, Poisson coefficient, elasticity modules, pointing auxeticity surfaces.

**References**

- Konek, D. A., Voytsehovskiy, K. V., Pleskachevskiy, Yu. M., Shil'ko, S. V. (2004). Materialy s otritsatel'nym koeffitsientom Puassona (obzor). *Mekhanika kompozitnykh materialov i konstruktivnykh*, 10 (1), 35–69.
- Turley, J., Sines, G. (1971). The anisotropy of Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio in cubic materials. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 4 (2), 264–271. doi: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/4/2/312>
- Goldstein, R. V., Gorodtsov, V. A., Lisovenko, D. S. (2010). Auxetic mechanics of crystalline materials. *Mechanics of Solids*, 45 (4), 529–545. doi: <https://doi.org/10.3103/s0025654410040047>
- Goldstein, R. V., Gorodtsov, V. A., Lisovenko, D. S. (2011). Young's modulus of cubic auxetics. *Letters on Materials*, 1 (3), 127–132. doi: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2011-3-127-132>
- Belomestnykh, V. N., Soboleva, E. G. (2011). Lateral strain ratios for cubic ionic crystals. *Letters on Materials*, 1 (2), 84–87. doi: <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2011-2-84-87>
- Raranskyi, M. D., Balaziuk, V. N., Kovaliuk, Z. D. (2012). Pruzhni vlastyivosti ta dynamika krystalichnoi gratky deiakykh napiv-providnykovykh monokrystaliv. Chernivtsi: Zoloti lytavry, 200.
- Raransky, M. D., Balazyuk, V. N., Melnyk, M. I., Gunko, M. M., Verebchan, Ya. S. (2014). The Peculiarities of Young's Modulus Surfaces of Cubic Single Crystals Formation. *Physics and chemistry of solid state*, 15 (4), 721–727.
- Harrison, U. (1983). *Elektronnaya struktura i svoystva tverdykh tel*. Moscow: Mir, 381.
- Raranskyi, M., Balaziuk, V., Hunko, M. (2016). Yavyshe auksetychnosti v tverdykh tilakh. Chernivtsi: «Druk Art», 178.
- Lisovenko, D. S., Gorodtsov, V. A. (2011). Cubic crystals with negative Poisson's ratio (cubic auxetics). *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo*, 4 (2), 488–489.
- Goldstein, R. V., Gorodtsov, V. A., Lisovenko, D. S. (2014). Young's modulus and Poisson's ratio for seven-constant tetragonal crystals and their nano/microtubes. *Fizicheskaya mezomehanika*, 17 (5), 5–14. doi: <http://doi.org/10.24411/1683-805X-2014-00015>
- Raransky, M. D., Balazyuk, V. N., Gunko, M. M. (2016). Criteria and Mechanisms of Appearance of Auxeticity in Cubic Syngony Crystals. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 37 (3), 379–396. doi: <https://doi.org/10.15407/mfint.37.03.0379>
- Raransky, M. D., Balazyuk, V. N., Gunko, M. M. (2015). Auxeticity Properties of Hexagonal Syngony Crystals. *Physics and chemistry of solidstate*, 16 (1), 34–43. doi: <https://doi.org/10.15330/pccs.16.1.34-43>
- Raransky, M. D., Tretiak, C. R., Gunko, M. M., Balazyuk, V. N. (2016). The Impact of d- and f-compression on Anisotropy of Elastic Properties of Single Crystals with Hexagonal Close Packing of Lattice. *Physics and chemistry of solidstate*, 17 (2), 170–179. doi: <https://doi.org/10.15330/pccs.17.2.170-179>
- Raransky, M. D., Balazyuk, V. N., Gunko, M. M. (2015). Abnormal deformation properties of some single crystals of tetragonal syngony. *Uzhhorod University Scientific Herald. Series Physics*, 37, 8–19. doi: <https://doi.org/10.24144/2415-8038.2015.37.8-19>
- Landolt-Börnstein. *Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. Group III: Crystal and Solid state Physics. Second and Higher Order Constants* (1992). Berlin: Springer, 682.
- Sirotnin, Yu. I., Shaskol'skaya, M. P. (1975). *Osnovy kristalofiziki*. Moscow: Nauka, 680.
- Ledd, M., Palmer, R. (Eds.) (1983). *Pryamyte metody v rentgenovskoy kristallografii*. Moscow: Mir, 416.
- Landau, L. D., Lifshits, E. M. (1968). *Teoriya uprugosti*. Moscow: Nauka, 209.
- Hearmon, R. F. S. (1956). The elastic constants of anisotropic materials – II. *Advances in Physics*, 5 (19), 323–382. doi: <https://doi.org/10.1080/00018732.1956.tadp0323>
- Kitaygorodskiy, A. I. (1971). *Molekulyarnye kristally*. Moscow: Nauka, 424.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214263

**DEVELOPMENT OF ENERGY HARVESTING WITH WATER DROPLET CONTINUOUS FLOW OVER NANOHOLLOW AND NANOSTALAGMITE OF TARO LEAF SURFACE (p. 14–22)****Komang Metty Trisna Negara**Brawijaya University, Malang, Indonesia  
Samawa University, Great Sumbawa, West Nusa Tenggara, Indonesia  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2771-7637>**Nurkholis Hamidi**Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2910-2353>**Denny Widhiyanuriawan**Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5729-4212>**I Nyoman Gede Wardana**Brawijaya University, Malang, Indonesia  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3146-9517>

Electrical energy is generated by harvesting the induced charge in metal electrodes and by connecting the surface of the taro leaf, coated with the electrodes underneath, to the bridge rectifier and capacitor. This discussion was supported by a Scanning Electron Microscope analysis on the surface of taro leaves. The electrical energy was measured using a bridge rectifier at various water droplet rate in contact with leaf, and at various slope of the taro leaves. The results showed that the slope of the leaf surface contact area with water droplets and taro leaf increases the generation of electric voltage. The greater the tilt angle of the taro leaf surface causing more electrons to jump out of orbit. The surface of taro leaves made by a cluster of nanostalagmites with other nanostalagmites separated by nanoscale hollows that tend to repel water droplets. The results from the repulsion of nanostalagmites at a very small radius of the nanostalagmite structure were very high surface tension or surface energy. The electron jump is mainly generated due to the high surface tension energy of the nanostalagmite structure that when it comes into contact with ionized  $H^+$  and  $OH^-$  in the water droplet, it produces hydrogen ( $H_2$ ).  $H_2$  is trapped in the nanohollows between the nanostalagmites. Due to the dense morphology of nanostalagmite,  $H_2$  will tend to be pushed upwards to force the water droplet. As a result, the surface tension will be higher and the surface will be more superhydrophobic thereby increasing the electrical voltage. The morphology and the tilt angle have an important role in generating electrical energy. Thus, it is necessary to do further research on superhydrophobic characteristics as a solution in the future to overcome the problem of electrical energy.

**Keywords:** water droplet, nanohollow, nanostalagmite, superhydrophobic surface, taro leaf, electrical energy.

**Reference**

- Webb, H. K., Crawford, R. J., Ivanova, E. P. (2014). Wettability of natural superhydrophobic surfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 210, 58–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.01.020>
- Negara, K. M. T., Wardana, I. N. G., Widhiyanuriawan, D., Hamidi, N. (2019). The Role of the Slope on Taro Leaf Surface to Produce Electrical Energy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 494, 012084. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/494/1/012084>
- Lee, Y. R., Shin, J. H., Park, I. S., Rhee, K., Chung, S. K. (2015). Energy harvesting based on acoustically oscillating liquid droplets. *Sensors and Actuators A: Physical*, 231, 8–14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2015.03.009>
- Lin, Z.-H., Cheng, G., Lee, S., Pradel, K. C., Wang, Z. L. (2014). Harvesting Water Drop Energy by a Sequential Contact-Electrification and Electrostatic-Induction Process. *Advanced Materials*, 26 (27), 4690–4696. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.201400373>
- Baytekin, B., Baytekin, H. T., Grzybowski, B. A. (2012). What Really Drives Chemical Reactions on Contact Charged Surfaces? *Journal of the American Chemical Society*, 134 (17), 7223–7226. doi: <https://doi.org/10.1021/ja300925h>
- Wu, W., Wang, X., Liu, X., Zhou, F. (2009). Spray-Coated Fluorine-Free Superhydrophobic Coatings with Easy Repairability and Applicability. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 1 (8), 1656–1661. doi: <https://doi.org/10.1021/am900136k>
- Luo, Z. Z., Zhang, Z. Z., Hu, L. T., Liu, W. M., Guo, Z. G., Zhang, H. J., Wang, W. J. (2008). Stable Bionic Superhydrophobic Coating Surface Fabricated by a Conventional Curing Process. *Advanced Materials*, 20 (5), 970–974. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.200701229>
- Ma, X., Zhao, D., Xue, M., Wang, H., Cao, T. (2010). Selective Discharge of Electrostatic Charges on Electrets Using a Patterned Hydrogel Stamp. *Angewandte Chemie*, 122 (32), 5669–5672. doi: <https://doi.org/10.1002/ange.201000766>
- Zhao, D., Duan, L., Xue, M., Ni, W., Cao, T. (2009). Patterning of Electrostatic Charge on Electrets Using Hot Microcontact Printing. *Angewandte Chemie International Edition*, 48 (36), 6699–6703. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.200902627>
- Lin, Z.-H., Zhu, G., Zhou, Y. S., Yang, Y., Bai, P., Chen, J., Wang, Z. L. (2013). A Self-Powered Triboelectric Nanosensor for Mercury Ion Detection. *Angewandte Chemie International Edition*, 52 (19), 5065–5069. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.201300437>
- Fan, F.-R., Tian, Z.-Q., Lin Wang, Z. (2012). Flexible triboelectric generator. *Nano Energy*, 1 (2), 328–334. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.01.004>
- Cheng, G., Lin, Z.-H., Lin, L., Du, Z., Wang, Z. L. (2013). Pulsed Nanogenerator with Huge Instantaneous Output Power Density. *ACS Nano*, 7 (8), 7383–7391. doi: <https://doi.org/10.1021/nn403151t>
- Zhu, G., Lin, Z.-H., Jing, Q., Bai, P., Pan, C., Yang, Y. et al. (2013). Toward Large-Scale Energy Harvesting by a Nanoparticle-Enhanced Triboelectric Nanogenerator. *Nano Letters*, 13 (2), 847–853. doi: <https://doi.org/10.1021/nl4001053>
- Nguyen, V., Yang, R. (2013). Effect of humidity and pressure on the triboelectric nanogenerator. *Nano Energy*, 2 (5), 604–608. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2013.07.012>
- Zhang, X.-S., Han, M.-D., Wang, R.-X., Zhu, F.-Y., Li, Z.-H., Wang, W., Zhang, H.-X. (2013). Frequency-Multiplication High-Output Triboelectric Nanogenerator for Sustainably Powering Biomedical Microsystems. *Nano Letters*, 13 (3), 1168–1172. doi: <https://doi.org/10.1021/nl3045684>
- Roundy, S., Wright, P. K. (2004). A piezoelectric vibration based generator for wireless electronics. *Smart Materials and Structures*, 13 (5), 1131–1142. doi: <https://doi.org/10.1088/0964-1726/13/5/018>
- Guigon, R., Chaillout, J.-J., Jager, T., Despesse, G. (2008). Harvesting raindrop energy: experimental study. *Smart Materials and Structures*, 17 (1), 015039. doi: <https://doi.org/10.1088/0964-1726/17/01/015039>
- Al Ahmad, M., Jabbour, G. E. (2012). Electronically droplet energy harvesting using piezoelectric cantilevers. *Electronics Letters*, 48 (11), 647. doi: <https://doi.org/10.1049/el.2012.0616>
- Feng, L., Liu, Y., Zhang, H., Wang, Y., Qiang, X. (2012). Superhydrophobic alumina surface with high adhesive force and long-term stability. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 410, 66–71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.06.018>
- Zhang, X., Guo, Y., Zhang, P., Wu, Z., Zhang, Z. (2012). Superhydrophobic and Superoleophilic Nanoparticle Film: Synthesis and

- Reversible Wettability Switching Behavior. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 4 (3), 1742–1746. doi: <https://doi.org/10.1021/am201856j>
21. Yuan, Y., Lee, T. R. (2013). Contact Angle and Wetting Properties. *Springer Series in Surface Sciences*, 3–34. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1)
  22. Muzenski, S., Flores-Vivian, I., Sobolev, K. (2015). Hydrophobic engineered cementitious composites for highway applications. *Cement and Concrete Composites*, 57, 68–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.12.009>
  23. Feng, L., Zhang, H., Mao, P., Wang, Y., Ge, Y. (2011). Superhydrophobic alumina surface based on stearic acid modification. *Applied Surface Science*, 257 (9), 3959–3963. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.11.143>
  24. Seo, H. O., Kim, K.-D., Jeong, M.-G., Kim, Y. D., Choi, K. H., Hong, E. M. et al. (2011). Superhydrophobic carbon fiber surfaces prepared by growth of carbon nanostructures and polydimethylsiloxane coating. *Macromolecular Research*, 20 (2), 216–219. doi: <https://doi.org/10.1007/s13233-012-0029-y>
  25. Subagyo, R., Wardana, I. N. G., Widodo, A., Siswanto, E. (2017). The Mechanism of Hydrogen Bubble Formation Caused by the Super Hydrophobic Characteristic of Taro Leaves. *International Review of Mechanical Engineering (IREME)*, 11 (2), 95. doi: <https://doi.org/10.15866/ireme.v11i2.10621>
  26. Negara, K. M. T., Widhiyanuriawan, D., Hamidi, N., Wardana, I. N. G. (2020). The Dynamic Interaction of Water Droplet with Nano-Stalagmite Functional Groups of Taro Leaf Surface. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 55 (2). doi: <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.55.2.28>
  27. Kriz, G. S., Pavia, D. L., Lampman, G. M. (2001). *Introduction to Spectroscopy*. Washington.
  28. Cassie, A. B. D., Baxter, S. (1944). Wettability of porous surfaces. *Transactions of the Faraday Society*, 40, 546. doi: <https://doi.org/10.1039/tf9444000546>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215145

**ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE INVERTER OPERATING ON A COMPLEX LOAD (p. 23–31)**

**Eugen Vereschago**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4370-7706>

**Vitalii Kostiuhenko**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2128-2388>

**Sergii Novogretskyi**

Admiral Makarov National University of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0240-1847>

A simulation model of a converter with soft switching of transistors has been created. New calculation methods and means of measuring the equivalent frequency characteristics of converting devices with negative feedback to the problems of stability analysis have been applied. A comparative analysis of the calculated frequency characteristics of the converter in the normal operation mode with the characteristics of its linear model is presented. The features of calculating the equivalent frequency characteristics of the loop amplification of key devices are considered. It is noted that it is the equivalent frequency characteristics of the loop amplification that describe the relationship of frequency properties with

the dynamics of voltage converters with pulse-width modulation and make it possible to reliably determine the real stability margins, predict the generation modes and open up the possibility of obtaining maximum negative feedback in a given frequency band of key devices. The non-minimal phase properties of the converter significantly complicate the achievement of high-quality stabilization of the output current (stabilization coefficient) of pulse stabilizers using only the deflection control principle. A successful solution to the problem is provided by the use of the principle of combined control. Compensation of the disturbance effect (changes in the supply voltage) gives a much better result than countering it through the feedback loop. It is quite realistic to exclude the influence of the input voltage  $u(t)$  on the output current  $i_2$  in a static mode ( $u=\text{const}$ ) and in the absence of a negative feedback loop, which provides  $\dot{i} = 0$  for  $u=\text{const}$  in a steady state, and to provide better dynamic properties of the converter. The influence of the nonlinear properties of pulse width modulation on stability is manifested in the considered characteristics in the form of an additional phase shift and resonant bursts in the vicinity of the clock frequency subharmonics. Additional feedbacks introduced into the control loop make it possible to solve synthesis problems using the most simple technical means.

**Keywords:** switching power supply, model, frequency characteristics, zero voltage switching.

**References**

1. Milyutin, V. S., Kataev, R. F. (2016). *Istochniki pitaniya i oborudovanie dlya elektricheskoy svarki plavleniem*. Moscow: Akademiya, 356.
2. Vereshchago, E. N. Fel'dsher, I. F., Kostyuchenko, V. I. (2007). *Kvazirezonsnyye inventory v ustroystvah elektropitaniya dlya vozdušno-plazmennoy rezki*. *Tekhnichna elektrodynamika*, 4, 8–11.
3. Vereshchago, E. N., Kvasnitskiy, V. F., Miroschnichenko, L. N., Pentegov, I. V. (2000). *Shemotekhnika invertornykh istochnikov pitaniya dlya dugovoy nagruzki*. Nikolaev: UGMTU, 283.
4. Gladkov, E. A., Brodyagin, V. N., Perkovskiy, R. A. (2014). *Avtomatizatsiya svarochnykh protsessov*. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Baumana, 421.
5. Wang, R., Xue, J. (2012). Theoretical analysis for output characteristics of soft-switching arc welding inverter. *Transactions of the China Welding Institution*, 12 (4), 29–35.
6. Dmitrikov, V. F., Shushpanov, D. V. (2018). *Ustoychivost' i elektromagnitnaya sovmestimost' ustroystv i sistem elektropitaniya*. Moscow: Nauchno-tehnicheskoe izdatel'stvo "Goryachaya liniya-Telekom", 540.
7. Nagarajan, C., Madheswaran, M. (2011). Performance analysis of LCL-T resonant converter with fuzzy/PID controller using state space analysis. *Electrical Engineering*, 93 (3), 167–178. doi: <https://doi.org/10.1007/s00202-011-0203-9>
8. De Simone, S. (2014). *LLC Resonant Half-Bridge Converter Design Guideline*. Application Note AN2450.
9. Ridley, R. B. (2012). *Power Supply Design, Volume 1: Control*. Ridley Engineering, Inc., 168.
10. Verna, S., Singh, S. K., Rao, A. G. (2013). Overview of control techniques for DC-DC converters. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2 (8), 18–21.
11. Smirnov, V. S. (2007). *Ekvivalentnye chastotnye harakteristiki tranzistornykh klyuchevykh ustroystv s otritsatel'noy obratnoy svyaz'yu (matematicheskoe modelirovanie, metodika izmereniy i optimizatsii)*. Sankt-Peterburg: SPbGUT, 17.
12. Belov, G. A. (2016). Comparison of the Discrete Dynamic Models of Impulse Converters. *Elektrichestvo*, 11, 35–43.
13. Aleksandrov, A. G. (2010). *Chastotnaya teoriya avtomaticheskogo upravleniya (chastotnoe upravlenie)*. Kn. 1. Moscow: EPI MISiS, 320.

14. Shushpanov, D. V. (2005). Vysokoeffektivnye impul'snye preobrazovateli napryazheniya s ShIM i raspredelennye sistemy elektropitaniya na ih osnove. Sankt-Peterburg: SPbGUT, 17.
15. Sidorets, V. N., Pentegov, I. V. (2013). Determinirovanniy haos v nelineynih tsepyah s elektricheskoy dugoy. Kyiv: Mezhdunarodnaya assotsiatsiya «Svarka», 272.
16. Vereshchago, E. N., Kostyuchenko, V. I. (2014). A simulation model of electric arc. Russian Electrical Engineering, 85 (6), 376–381. doi: <https://doi.org/10.3103/s106837121406011x>
17. Korshunov, A. I. (2013). Povyshenie kachestva stabilizatsii vyhodnogo napryazheniya impul'snogo preobrazovatelya postoyannogo toka. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Priborostroenie, 56 (3), 48–57.
18. Samylin, I. N., Smirnov, V. S., Filin, V. A. (2004). Otsenka predel'noy glubiny otritsatel'noy obratnoy svyazi v ShIM-preobrazovatelyah ponizhayushchego tipa. Prakticheskaya silovaya elektronika, 14, 12–18.
19. Bakalov, V. P., Dmitrikov, V. F., Kruk, B. I. (2013). Osnovy teorii tsepey. Moscow: Goryachaya liniya - Telekom, 597.
20. Vereshchago, E. N., Kostyuchenko, V. I. (2019). Research of static and dynamic characteristics of a voltage converter with soft switching running on arc load. Electrical Engineering and Power Engineering, 2, 8–22. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2019-2-1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212345

**DETERMINING A TECHNIQUE FOR TRANSMITTING MEASURING DATA ON THE SPATIAL POSITIONING OF THE PIERCING HEAD IN SMALL-SIZE INSTALLATIONS DURING CONTROLLED SOIL PIERCING (p. 32–40)**

**Vitaliy Sakhatsky**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0568-8943>

**Nina Lyubymova**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8964-7326>

**Vitaliy Vlasovets**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6657-6761>

**Vladimir Suponyev**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7404-6691>

**Oleksandr Koval**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5690-2749>

**Artem Naumenko**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1015-2457>

**Tatyana Vlasenko**

Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University  
of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0862-9175>

**Yevhenii Chepusenko**

Kharkiv National Automobile and Highway University,  
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0439-3310>

For laying of underground utility systems in urban conditions by the method of horizontally directed soil piercing, small-sized units are designed. Such units should have measurement systems for determining the spatial position of the piercing head. In known systems, the surface layer of the soil is used as a data transmission line for transmitting measurement information.

This method of transmitting information signals in urban conditions is not very acceptable. Ground-based objects reflect electromagnetic radiation of the head transmitter which leads to distortion of the directional diagram of the emitter and complicates the reliable reception of measurement information.

It was proposed to use an autonomous measuring system with an operating frequency of 5 GHz based on Wi-Fi technologies and an unconventional method of transmitting measurement information using hollow steel bars in the piercing unit itself. This transmission line has periodic discontinuities because of the bar design. These discontinuities accumulate as the piercing head advances. For the basic vibration type  $H_{11}$ , more accurate analytical expressions were obtained for calculating the power transfer coefficient of the measurement signal in such non-uniform lines. It was shown that inhomogeneity of the transmission line in comparison with its surface resistance does not significantly affect the transmission coefficient.

For example, damping in the line increased by 1.2 dB with the maximum length of inhomogeneity of 5 mm and the total length of jointed bars of 50 m. It has been theoretically proven that the range of soil piercing with reliable signal reception can be up to 50 meters.

The proposed method for transmitting information signals makes it possible to reduce the transmitter power, ensure noise immunity of the measuring system, and reliable reception of the measuring information throughout the entire piercing path.

**Keywords:** piercing head, measuring system, waveguide path, inhomogeneity, ABCD matrix, transmission coefficient.

#### References

1. Bian, Z. J. L. (2014). Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press, 187.
2. Penchuk, V. A., Rudnev, V. K., Saenko, N. V., Suponev, V. N., Oleksyn, V. I., Balesniy, S. P., Vivchar, S. M. (2015). Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. Magazine of Civil Engineering, 54 (02), 100–107. doi: <https://doi.org/10.5862/mce.54.11>
3. Isachenko, V. H. (1987). Inklinometriya skvazhin. Moscow: Nedra, 216.
4. Tsybrjaeva, I. V. (2014). Method for zenith angle and drift direction determination and gyroscopic inclinometer. No. 2012151485/03, declared: 30.11.2012; published: 20.02.2014, Bul. No. 5.
5. Fisher, C. J. (2011). Using an Accelerometer for inclination Sensing. Available at: <https://www.digikey.in/en/articles/using-an-accelerometer-for-inclination-sensing>
6. Hastak, M., Gokhale, S. (2009). Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction. Geological Engineering: Proceedings of the 1, 1–18. doi: <https://doi.org/10.1115/1.802922.paper30>
7. Balyesniy, S. (2017). Features of soil thrust boring process. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University, 76, 138–141.
8. Balesniy, S. P. (2016). Experimental complex for research of the soil thrust process with correction of boring trajectory. Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie, 88, 131–137.
9. Allouche, E. N., Ariaratnam, S. T. (2002). Ariaratnam, State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. Pipeline Division Specialty Conference 2002. doi: [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55)
10. Cohen, A., Ariaratnam, S. T. (2017). Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. Pipelines 2017. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784480878.050>

11. Suponiev, V. M. (2018). Stvorennia obladnannia dlia rozrobky horyzontalnykh sverdlovyn kombinovanykh sposobamy statychnoi diyi. Kharkiv: KhNADU, 196.
12. Gusev, I., Chubarov, F. (2014). Application of controlled ground puncture in trenchless pipelaying. *Potensial sovremennoy nauki*, 2, 30–34.
13. Suponyev, V., Chepusenko, Y. (2019). Telemetry system for determining the coordinates of the piercing head in the ground. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 84, 13–20. doi: <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2019.84.0.13>
14. Shcherbakov, G. N., Antselevich, M. A., Udintsev, D. N. (2005). Vybory elektromagnitnogo metoda zondirovaniya dlya poiska obektov v toshche ukryvayushchih sred. *Spetsial'naya tehnika*, 1, 21–25.
15. Koval, O. A., Koval, A. O. (2017). *Prostorovo rozpodileni intelektualni vymiriuvalni informatsiyni systemy*. Kharkiv: Lider, 144.
16. Lokatsionnye systemy DigiTrak. Available at: <http://www.k-ss.com.ua/list.php?data=locdt>
17. Syrskiy, V. P., Nesterov, E. A., Pakhomov, A. D. (2010). Pat. No. RU 2442192 C1. The method of determination of mandrills or bores location in the ground and the installment for the performance of the above method. No. 2010131280/28; declared: 26.07.2010; published: 10.02.2012.
18. Pleshakova, E. V., Gavrilo, S. J. (2007). Pat. No. RU 2338876 C1. Method for determination of pneumatic puncher deviation angle from prescribed trajectory. No. 2007121127/03; declared: 05.06.2007; published: 20.11.2008, *Bul. No. 32*.
19. Ross, D. (2007). *Wi-Fi. Besprovodnaya set'*. Sankt-Peterburg: NT Press, 320.
20. Sakhatsky, V., Lyubymova, N., Pusik, V., Pusik, L., Chepusenko, I. (2019). Prevention of Economic Losses with the help of the System of Control of Saving and Storing Bulk Cargoes in the Process of Train Movement. *SHS Web of Conferences*, 67, 02008. doi: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702008>
21. Sakhatsky, V. D., Chepusenko, Ye. O. (2018). Vykorystannia Wi-Fi tekhnolohiy dlia rozrobky vymiriuvalnoi systemy vyznachennia koordynat prostorovoho polozhennia prokoliuiuchoi holovky pry beztransheinoi prokladky komunikatsiy. *Tekhnologiya priborostroeniya*, 2, 37–41.
22. Raspberry Pi 3 Model B+. Available at: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
23. BMX055. Available at: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmx055-ds000.pdf>
24. CYW43455 Single-Chip 5G WiFi IEEE 802.11n/ac MAC/Baseband/ Radio with Integrated Bluetooth 5.0. Available at: <https://www.cypress.com/file/358916/download>
25. Pchel'nikov, Yu. N. (2010). Opredelenie ekvivalentnykh parametrov volnovodov kruglogo i pryamougol'nogo secheniya. *Radiotekhnika i elektronika*, 55 (1), 113–119.
26. Fusko, V. (1990). *SVCh tsepi. Analiz i avtomaticheskoe proektirovanie*. Moscow: Radio i svyaz', 288.
27. Grigor'ev, A. D. (1990). *Elektrodinamika i tehnika SVCh*. Moscow, 336.
28. Gololobov, V. D., Kiril'chuk, V. B. (2005). *Rasprostranenie radiovoln i antenno-fidernye ustroystva: Metod. Ch. 2: Fidernye ustroystva*. Minsk: BGUIR, 299.
29. Fal'kovskiy, O. I. (2009). *Tekhnicheskaya elektrodinamika*. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo «Lan'», 432.
30. Cherenkov, V. S., Ivanitskiy, A. M. (2006). *Tekhnicheskaya elektrodinamika: Konspekt lektsiy*. Odessa: ONAZ im. A.S. Popova, 160.
31. Shmatko, O. A., Usov, Yu. V. (1987). *Elektricheskie i magnitnye svoystva metallov i splavov*. Kyiv: Naukova dumka, 584.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215047

## A FINITE-ELEMENT STUDY OF ELASTIC FILTRATION IN SOILS WITH THIN INCLUSIONS (p. 41–48)

Olga Michuta

National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8969-6897>

Natalia Ivanchuk

National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7170-7068>

Petro Martyniuk

National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2750-2508>

Oksana Ostapchuk

National University of Water and Environmental Engineering,  
Rivne, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0543-2884>

Soil environments are heterogeneous in their nature. This heterogeneity creates significant difficulties both in terms of construction practice and in terms of the mathematical modeling and computer simulation of the physical-chemical processes in these heterogeneous soil arrays. From the standpoint of mathematical modeling, the issue is the discontinuity of functions, which characterize the examined processes, on such inclusions. Moreover, the characteristics of such inclusions may depend on the defining functions of the processes studied (head, temperature, humidity, the concentration of chemicals, and their gradients). And this requires the modification of conjugation conditions and leads to the nonlinear boundary-value problems in heterogeneous areas. That is why this work has examined the impact of the existence of thin inclusions on the conjugation conditions for the defining functions of the filtration and geomigration processes on them. The conjugation condition for heads has also been modified while the mathematical model of an elastic filtration mode in a heterogeneous array of soil, which contains thin weakly permeable inclusions, has been improved. The improvement implies the modification of conjugation conditions for heads on thin inclusions when the filtering factor of the inclusion itself is nonlinearly dependent on the head gradient. The numerical solution to the corresponding nonlinear boundary-value problem has been found using a finite-element method. A series of numerical experiments were conducted and their analysis was carried out. The possibility of a significant impact on the head jump has been shown taking into consideration the dependence of filtration characteristics of an inclusion on head gradients. In particular, the relative difference of head jumps lies between 26 % and 99 % relative to the problem with a stable filtration factor for an inclusion. In other words, when conducting forecast calculations, the influence of such dependences cannot be neglected.

**Keywords:** elastic filtration, thin inclusion, conjugation conditions, finite-element method.

## References

1. Sattarov, M. A. (1999). *Reologiya i zakony fil'tratsii*. Matematicheskie modeli fil'tratsii i ih prilozheniya. Novosibirsk: Institut gidrodinamiki im. M. A. Lavrent'eva, 159–169.
2. Polyakov, V. L. (2013). Steady-state groundwater flow to a drainage in noncohesive soil with locally ordered structure. *Dopovidi Natsionalnoi akademiyi nauk Ukrainy*, 2, 57–64. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/85393/09-Polyakov.pdf?sequence=1>

3. Shashkin, A. G. (2011). Vyazko-uprugo-plasticheskaya model' povedeniya glinistogo grunta. Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo, 2, 1–32. Available at: <http://www.urban-development.ru/2011/7.pdf>
4. Hansbo, S. (1960). Consolidation of clay, with special reference to influence of vertical sand drains. Swedish Geot. Institute, Proc., 18, 1–160.
5. Dmitriev, A. F., Hlapuk, N. N., Dmitriev, A. D. (2002). Deformatsionnye protsessy v nesvyaznyh gruntah v pridrennoy zone i ih vliyanie na rabotu osushitel'no-uvlazhnitel'nyh sistem. Rovno: RGTU, 145.
6. Liu, Z., Xia, Y., Shi, M., Zhang, J., Zhu, X. (2019). Numerical Simulation and Experiment Study on the Characteristics of Non-Darcian Flow and Rheological Consolidation of Saturated Clay. Water, 11 (7), 1385. doi: <https://doi.org/10.3390/w11071385>
7. Xue-wu, W., Zheng-ming, Y., Yu-ping, S., Xue-wei, L. (2011). Experimental and Theoretical Investigation of Nonlinear Flow in Low Permeability Reservoir. Procedia Environmental Sciences, 11, 1392–1399. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.209>
8. Deng, Y., Xie, H., Huang, R., Liu, C. (2007). Law of nonlinear flow in saturated clays and radial consolidation. Applied Mathematics and Mechanics, 28 (11), 1427–1436. doi: <https://doi.org/10.1007/s10483-007-1102-7>
9. Arrarás, A., Gaspar, F. J., Portero, L., Rodrigo, C. (2019). Geometric multigrid methods for Darcy–Forchheimer flow in fractured porous media. Computers & Mathematics with Applications, 78 (9), 3139–3151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2019.04.031>
10. Xiong, Y., Yu, J., Sun, H., Yuan, J., Huang, Z., Wu, Y. (2017). A New Non-Darcy Flow Model for Low-Velocity Multiphase Flow in Tight Reservoirs. Transport in Porous Media, 117 (3), 367–383. doi: <https://doi.org/10.1007/s11242-017-0838-8>
11. Deng, Y., Liu, G., Zheng, R., Xie, K. (2016). Finite Element Analysis of Biot's Consolidation with a Coupled Nonlinear Flow Model. Mathematical Problems in Engineering, 2016, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/3047213>
12. Liu, W., Yao, J., Chen, Z., Liu, Y. (2015). Effect of quadratic pressure gradient term on a one-dimensional moving boundary problem based on modified Darcy's law. Acta Mechanica Sinica, 32 (1), 38–53. doi: <https://doi.org/10.1007/s10409-015-0526-2>
13. Shackelford, C. D., Moore, S. M. (2013). Fickian diffusion of radionuclides for engineered containment barriers: Diffusion coefficients, porosities, and complicating issues. Engineering Geology, 152 (1), 133–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.10.014>
14. Sergienko, I. V., Skopetskiy, V. V., Deyneka, V. S. (1991). Matematicheskoe modelirovanie i issledovanie protsessov v neodnorodnyh sredah. Kyiv: Naukova dumka, 431.
15. Shackelford, C. D., Meier, A., Sample-Lord, K. (2016). Limiting membrane and diffusion behavior of a geosynthetic clay liner. Geotextiles and Geomembranes, 44 (5), 707–718. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2016.05.009>
16. Tang, Q., Katsumi, T., Inui, T., Li, Z. (2014). Membrane behavior of bentonite-amended compacted clay. Soils and Foundations, 54 (3), 329–344. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.04.019>
17. Pu, H., Fox, P. J., Shackelford, C. D. (2016). Assessment of Consolidation-Induced Contaminant Transport for Compacted Clay Liner Systems. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 142 (3), 04015091. doi: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0001426](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001426)
18. Malusis, M. A., Shackelford, C. D., Olsen, H. W. (2003). Flow and transport through clay membrane barriers. Engineering Geology, 70 (3-4), 235–248. doi: [https://doi.org/10.1016/s0013-7952\(03\)00092-9](https://doi.org/10.1016/s0013-7952(03)00092-9)
19. Malusis, M. A., Shackelford, C. D., Maneval, J. E. (2012). Critical review of coupled flux formulations for clay membranes based on non-equilibrium thermodynamics. Journal of Contaminant Hydrology, 138-139, 40–59. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2012.06.003>
20. Nomirovskii, D. A., Vostrikov, O. I. (2016). Generalized Statements and Properties of Models of Transport Processes in Domains with Cuts. Cybernetics and Systems Analysis, 52 (6), 931–942. doi: <https://doi.org/10.1007/s10559-016-9895-1>
21. Vostrikov, O. I., Nomirovskii, D. A. (2016). Generalized Solvability of Transmission Systems in a Layered Domain with the Condition of a «Proper Lumped Source». Journal of Computational & Applied Mathematics, 1 (121), 19–27. Available at: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/jopm\\_2016\\_1\\_5.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/jopm_2016_1_5.pdf)
22. Gera, B., Chaplya, Y., Chernukha, O. (2010). Diffusion in a three-layered strip with allowance for jump of admixture concentration function on internal contact surfaces. Physico-mathematical modeling and information technologies, 12, 61–68. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/22463>
23. Barenblatt, G. I., Entov, V. M., Ryzhik, V. M. (1972). Teoriya nestatsionarnoy fil'tratsii zhidkosti i gaza. Moscow: Nedra, 288.
24. Shestakov, V. M. (1979). Dinamika podzemnyh vod. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta.
25. Chui, Y. V., Moshynskiy, V. S., Martyniuk, P. M., Stepanchenko, O. M. (2018). On conjugation conditions in the filtration problems upon existence of semipermeable inclusions. JP Journal of Heat and Mass Transfer, 15 (3), 609–619. doi: <https://doi.org/10.17654/hm015030609>
26. Vlasyuk, A. P., Martynyuk, P. M. (2010). Numerical solution of three-dimensional problems of filtration consolidation with regard for the influence of technogenic factors by the method of radial basis functions. Journal of Mathematical Sciences, 171 (5), 632–648. doi: <https://doi.org/10.1007/s10958-010-0163-z>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215167

### ВИЯВЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ФОРМУВАННЯ АУКСЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОНОКРИСТАЛІВ МОНОКЛИННОЇ СИНГОНІЇ (с. 6–13)

М. Д. Раранський, А. В. Олійнич-Лисюк, Р. Ю. Тащук, М. А. Унгурия

Проведено аналіз закономірностей і механізмів формування характеристичних поверхонь модулів Юнга, кутових розподілів коефіцієнтів Пуассона та вказівних поверхонь ауксетичності монокристалів кубічної, гексагональної, тетрагональної і ромбічної сингонії. Виявлені кристали, які можуть досягти граничних від'ємних значень, передбачених класичною теорією пружності для ізотропних середовищ. Встановлено, що поблизу точок фазового переходу або температур плавлення вказівні поверхні ауксетичності стрімко зростають і кристали становляться абсолютними ауксетиками. Показано, що саме масив від'ємних значень коефіцієнтів Пуассона формує зображення вказівних поверхонь ауксетичності. Установлено, що з пониженням симетрії кристалів зростає кількість кристалографічних напрямків, в яких кристали поступово перетворюються з «часткових» до «змішаних» або навіть «абсолютних» ауксетиків.

Аналіз анізотропії пружних властивостей, характеристичних поверхонь модулів Юнга та вказівних поверхонь ауксетичності виявив, що більшість монокристалів вищої і середньої категорії ледве досягають мінімальних граничних значень коефіцієнтів Пуассона. Тому для отримання більш надійних ауксетичних матеріалів з високими ударно-енергетичними та сейсмічностійкими характеристиками необхідно провести дослідження анізотропії пружних властивостей монокристалів низької категорії. Побудовані характеристичні поверхні модулів Юнга.

Побудовані об'ємні зображення кутових розподілів коефіцієнтів Пуассона досліджуваних монокристалів, які дають можливість визначити абсолютні значення та кристалографічну орієнтацію максимальних і мінімальних значень коефіцієнтів Пуассона. Побудовані вказівні поверхні ауксетичності досліджуваних монокристалів.

**Ключові слова:** аксіальна, неаксіальна ауксетичність, Коефіцієнт Пуассона, модулі пружності, вказівні поверхні ауксетичності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.214263

### РОЗРОБКА ЗБОРУ ЕНЕРГІЇ З БЕЗПЕРЕРВНИМ ПОТОКОМ ВОДНИХ КРАПЕЛЬ НАД НАНОПОРОЖНИНОЮ І НАНОСТАЛАГМІТОМ ПОВЕРХНІ ЛИСТА ТАРО (с. 14–22)

Komang Metty Trisna Negara, Nurkholis Hamidi, Denny Widhiyanuriawan, I Nyoman Gede Wardana

Електрична енергія генерується за рахунок збору індукованого заряду в металевих електродах і шляхом підключення поверхні листа таро, покритого електродами під ним, до мостового випрямляча і конденсатора. Це було підтверджено аналізом поверхні листа таро на скануючому електронному мікроскопі. Електричну енергію вимірювали за допомогою мостового випрямляча при різній кількості крапель води, що контактують з листом, і за різного нахилу листа таро. Результати показали, що нахил зони контакту поверхні листа з краплями води і листом таро збільшує вироблення електричної напруги. Чим більше кут нахилу поверхні листа таро, тим більше електронів вистрибує з орбіти. Поверхня листа таро складається з кластера наносталагмітів з іншими наносталагмітами, розділеними нанорозмірними порожнинами, які мають тенденцію відштовхувати краплі води. Результатом відштовхування наносталагмітів на дуже малому радіусі структури наносталагміта є дуже високий поверхневий натяг або поверхнева енергія. Електронний стрибок в основному генерується через високу енергію поверхневого натягу структури наносталагміта, яка при контакті з іонізованими  $H^+$  та  $OH^-$  в краплі води виробляє водень ( $H_2$ ).  $H_2$  затримується в нанопорожнинах між наносталагмітами. Через щільну морфологію наносталагміт  $H_2$  матиме тенденцію виштовхуватися вгору, виливаючи на краплю води. В результаті поверхневий натяг буде вище, а поверхня буде більш супергідрофобною, що призведе до збільшення електричної напруги. Морфологія і кут нахилу відіграють важливу роль у виробленні електроенергії. Таким чином, необхідно провести подальші дослідження супергідрофобних характеристик як рішення майбутніх проблем з електричною енергією.

**Ключові слова:** крапля води, нанопорожина, наносталагміт, супергідрофобна поверхня, лист таро, електрична енергія.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215145

### АНАЛІЗ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕТВОРЮВАЧА, ЩО ПРАЦЮЄ НА КОМПЛЕКСНЕ НАВАНТАЖЕННЯ (с. 23–31)

Є. М. Верещаго, В. І. Костюченко, С. М. Новогрецький

Створено імітаційну модель перетворювача з м'якою комутацією транзисторів. Застосовані нові методи розрахунку і засоби вимірювання еквівалентних частотних характеристик перетворювальних пристроїв з негативним зворотним зв'язком до завдань аналізу стійкості. Наведено порівняльний аналіз розрахункових частотних характеристик перетворювача в режимі нормального функціонування з характеристиками його лінійної моделі. Розглянуто особливості розрахунку еквівалентних частотних характеристик петлевого посилення ключових пристроїв. Відзначено, що саме еквівалентні частотні характеристики петлевого посилення описують взаємозв'язок частотних властивостей з динамікою перетворювачів напруги з широтно-імпульсною модуляцією і дозволяють достовірно визначити реальні запаси стійкості, прогнозувати режими генерації і відкривають можливість отримання максимального негативного зворотного зв'язку в заданій смузі частот ключових пристроїв. Немінімально-фазові властивості перетво-

рювача істотно ускладнюють досягнення високої якості стабілізації вихідного струму (коефіцієнта стабілізації) імпульсних стабілізаторів при використанні тільки принципу управління по відхиленню. Вдале рішення задачі дає використання принципу комбінованого управління. Компенсація збурюючого впливу (зміни напруги живлення) дає значно кращий результат, ніж його парировання по ланцюгу зворотного зв'язку. Цілком реально усунути вплив вхідної напруги  $u(t)$  на вихідний струм  $i_2$  в статичному режимі ( $u=\text{const}$ ) і при відсутності контуру негативного зворотного зв'язку, що і забезпечує  $\tilde{i} = 0$  при  $u=\text{const}$  в сталому режимі, і забезпечити кращі динамічні властивості перетворювача. Вплив нелінійних властивостей широтно-імпульсної модуляції на стійкість проявляється в розглянутих характеристиках у вигляді додаткового фазового зсуву і резонансних силесків в околиці субгармонік тактової частоти. Додаткові зворотні зв'язки, що вводяться в контур регулювання, дозволяють вирішувати завдання синтезу найбільш простими технічними засобами.

**Ключові слова:** імпульсне джерело живлення, модель, частотні характеристики, перемикання при нульовій напрузі.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.212345

### ВИЗНАЧЕННЯ СПОСОБУ ПЕРЕДАЧІ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ПРОСТОРОВЕ ПОЛОЖЕННЯ ПРОКОЛЮЮЧОЇ ГОЛІВКИ МАЛОГАБАРИТНИХ УСТАНОВОК ПРИ КЕРОВАНОМУ ПРОКОЛІ ҐРУНТУ (с. 32–40)

В. Д. Сахацький, Н. О. Любимова, В. М. Власовець, В. М. Супонєв, О. А. Коваль, А. О. Науменко, Т. В. Власенко, Є. О. Чепусенко

Для прокладання підземних комунікацій у міських умовах методом горизонтально спрямованого проколу ґрунту створюються малогабаритні установки. Ці установки в своєму складі повинні мати вимірювальні системи визначення просторового положення голівки, яка проколює ґрунт. У відомих системах для передавання вимірювальної інформації в якості лінії передавання даних використовується поверхневий шар ґрунту.

Такий спосіб передавання інформаційного сигналу у міських умовах мало прийнятний. Наземні об'єкти відображають електромагнітне випромінювання передавача голівки, що призводить до спотворення діаграми спрямованості випромінювача і ускладнення достовірного прийому вимірювальної інформації.

У роботі запропоновано використовувати автономну вимірювальну систему з робочою частотою 5 ГГц на основі Wi-Fi технологій і нетрадиційний спосіб передачі вимірювальної інформації за допомогою пустотілих сталевих штанг власної самої установки, яка проколює. Така лінія передавання має періодичну неоднорідність, яка обумовлена конструкцією штанг і накопичується по мірі просування голівки, яка проколює ґрунт. Для основного типу коливань  $H_{11}$  отримані більш точні аналітичні вирази з розрахунку коефіцієнту передачі потужності вимірювального сигналу в такій неоднорідній лінії. Наведено, що неоднорідність лінії передавання в порівнянні з її поверхневим опором істотно не впливає на коефіцієнт передачі.

Так, при максимальній довжині неоднорідності 5 мм і загальній довжині поєднаних штанг 50 м загасання в лінії збільшується на 1.2 дБ. Теоретично доведено, що відстань проколу ґрунту при впевненому прийомі сигналу може бути до 50 метрів.

Запропонований спосіб передачі інформаційного сигналу дозволяє зменшити потужність передавача, забезпечити перешкодозахищеність вимірювальної системи та забезпечити достовірний прийом вимірювальної інформації протягом всієї траси проколу.

**Ключові слова:** голівка, яка проколює ґрунт, вимірювальна система, хвилевідний тракт, неоднорідність, ABCD матриця, коефіцієнт передавання.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.215047

### СКІНЧЕННОЕЛЕМЕНТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В ҐРУНТАХ ІЗ ТОНКИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ (с. 41–48)

О. Р. Мічута, Н. В. Іванчук, П. М. Мартинюк, О. П. Остапчук

Ґрунтові середовища по своїй природі є неоднорідними. Ця неоднорідність створює значні труднощі як з точки зору практики будівництва, так і з точки зору математичного і комп'ютерного моделювання фізико-хімічних процесів в цих неоднорідних ґрунтових масивах. З точки зору математичного моделювання проблемою є розривність функцій, якими характеризуються досліджувані процеси, на таких включеннях. Більше того, характеристики таких включень можуть залежати від визначальних функцій досліджуваних процесів (напір, температура, вологість, концентрація хімічних речовин та їх градієнти). А це вимагає модифікації умов спряження та приводить до нелінійних крайових задач в неоднорідних областях. Саме тому в роботі було досліджено вплив наявності тонких включень на умови спряження для визначальних функцій фільтраційних та геоміграційних процесів на них. Також модифіковано умову спряження для напорів та вдосконалено математичну модель пружного режиму фільтрації в неоднорідному масиві ґрунту, який містить тонкі слабопроникні включення. Вдосконалення полягає у модифікації умов спряження для напорів на тонких включеннях, коли коефіцієнт фільтрації самого включення нелінійно залежить від градієнта напорів. Числовий розв'язок відповідної нелінійної крайової задачі знайдено методом скінченних елементів. Проведено ряд числових експериментів та здійснено їх аналіз. Показана можливість значного впливу на стрибок напорів урахування залежності фільтраційних характеристик включення від градієнтів напорів. Зокрема, відносна різниця стрибків напорів лежить в межах від 26 % до 99 % відносно задачі зі сталим коефіцієнтом фільтрації для включення. Тобто, при проведенні прогнозних розрахунків впливом таких залежностей нехтувати не можна.

**Ключові слова:** пружна фільтрація, тонке включення, умови спряження, метод скінченних елементів.