



## MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.242256

## INCREASING THE RESOURCE OF AGRICULTURAL MACHINES

pages 6–11

**Anatolii Dudnikov**, PhD, Professor, Head of Department of Technologies and Means of Mechanization of Agricultural Production, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8580-657X>

**Ihor Dudnikov**, PhD, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0448-2241>

**Volodymyr Dudnyk**, PhD, Associate Professor, Department of Life Safety, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, e-mail: [prepoddov@ukr.net](mailto:prepoddov@ukr.net), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6553-2951>

**Vladyslav Mykhailichko**, Postgraduate Student, Department of Life Safety, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1549-339X>

**Oleksii Burlaka**, PhD, Associate Professor, Department of Technologies and Means of Mechanization of Agricultural Production, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2296-7234>

**Oleksander Kanivets**, PhD, Associate Professor, Department of Technologies and Means of Mechanization of Agricultural Production, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4364-8424>

The object of research is the technological process of increasing the service life of pointed cultivator shares of tillage machines through the use of a progressive method of vibration hardening. One of the most problematic areas is the inadequate study of the investigated technological process of restoring the working bodies of agricultural machines. In order to gain a deeper understanding of the process of vibration processing of the material of these machine parts during their restoration, it is necessary to conduct further experimental studies.

In the course of the study, it has been found that the use of vibration deformation of the surface layer of the material of parts contributes to an increase in their resource. The optimal parameters of vibration hardening of the cutting elements of the cultivator shares of tillage machines have been determined, which makes it possible to increase their durability. The main parameters of vibration hardening are revealed: the vibration amplitude of the processing tool is 0.75 mm; vibration frequency – 1400 min<sup>-1</sup>; hardening time – 30 s.

As a research result, the assessment of the change in linear wear along the width of the cutting element of the cultivator duckfoot of tillage machines was carried out. In cultivators with tines restored by welding angle plates made of 45 steel (GOST 1050-2013, GB 699-88), sormite surfacing and vibration hardening, the linear wear rate by weight of cutting elements is 35–43 % less than in new tines. A study of changes in the wear of the cutting edge of cultivator shares was carried out, which, when restored by welding corner plates made of steel 45 (GOST 1050-2013, GB 699-88), surfacing with sormite and vibration hardening, is 1.57–1.68 times less than in new shares.

In comparison with existing technologies, the developed technology provides a reduction in the wear of cutting elements by 10–17 %, in comparison with new ones made of 65G steel (GOST 14959-2016, GB 1222). The coefficient of technical utilization of the cultivator with tines restored according to the developed technology, in comparison with the new ones, is 1.07 times higher.

**Keywords:** vibrations, linear wear, cultivator share, cutting edge, tillage machines, vibration hardening.

## References

1. Babichev, A. P., Babichev, I. A. (2008). *Osnovy vibratsionnoy tehnologii*. Rostov-na-Donu: Izdatel'skiy tsentr DGTU, 694.
2. Voitiuk, V. D., Rublov, V. I. (2005). *Upravlinnia yakistiu tekhnichnoho servisu i silskohospodarskoi tekhniki pry postachanni*. Kyiv: Vydavnytstvo NAU, 192.
3. Voitiuk, D. H., Havryliuk, R. H. (2004). *Silskohospodarski mashyny*. Kyiv: Karavella, 552.
4. Downham, E. (1986). Vibration in rotating machinery: Malfunction diagnosis – Art Science. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Vibrations in Rotating Machinery*, 1–6.
5. Levin, E. L. (1998). *Vybor optimal'nogo sposoba vosstanovleniya iznoshennykh detaley*. Ufa: Bashgosagrouniversitet, 20.
6. Świercz, R., Oniszcuk-Świercz, D. (2017). Experimental Investigation of Surface Layer Properties of High Thermal Conductivity Tool Steel after Electrical Discharge Machining. *Metals*, 7 (12), 550. doi: <https://doi.org/10.3390/met7120550>
7. Bowden, F. P., Tabor, D. (2001). *The friction and lubrication of solids*. Oxford University Press, 424.
8. Dudnikov, A., Dudnik, V., Ivankova, O., Burlaka, O. (2019). Substantiation of parameters for the technological process of restoring machine parts by the method of plastic deformation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (97)), 75–80. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156779>
9. Stepanova, T. Yu. (2009). *Tehnologii poverhnostnogo uprochneniya detaley mashin*. Ivanovo: NGHTU, 64.
10. Richard, D. D. (1998). *Corede Electrodes*. New York: Chemerton Corporation USA, 26.
11. Augusti, G., Baratta, A., Casciati, F. (2014). *Probabilistic methods in structural engineering*. CRC Press, 582. doi: <https://doi.org/10.1201/9781482267457>
12. Chernoiwanov, V. I. (1999). *Optimizatsiya i tehnologiya voss-tanovleniya detaley mashin*. Moscow: Agropromizdat, 336.
13. Świercz, R., Oniszcuk-Świercz, D., Chmielewski, T. (2019). Multi-Response Optimization of Electrical Discharge Machining Using the Desirability Function. *Micromachines*, 10 (1), 72. doi: <https://doi.org/10.3390/mi10010072>
14. Nikolaenko, A., Hussein, A. T. (2014). Modelling of vibrating machine-tool with improved construction. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*, 14 (1), 174–181. Available at: [https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-48b712f4-c1ef-4471-9486-916bbdbd7ad0/c/18\\_174-181.pdf](https://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-48b712f4-c1ef-4471-9486-916bbdbd7ad0/c/18_174-181.pdf)
15. Lou, Y., He, J. S., Chen, H., Long, M. (2016). Effects of vibration amplitude and relative grain size on the rheological behavior of copper during ultrasonic-assisted microextrusion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89 (5-8), 2421–2433. doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9288-7>
16. Huz, V. P., Lisovon, A. P., Andrienko, V. O., Rybak, M. F. (2007). *Zemlerobstvo z osnovamy gruntoznavstva i ahrokhimiiji*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 408.

17. Pasuta, A. (2014). Determination of wear pattern of cutting elements of tillage machines. *Technology Audit and Production Reserves*, 6 (1 (20)), 8–11. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.34778>
18. Dudnikov, A. A., Bilovod, O. I., Pasiuta, A. H. (2014). Ekonomichna otsinka ekspluatatsiynoi nadiynosti robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn. *Shosta mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya molodykh vchenykh*. Kyiv, 60–62.
19. Djema, M. A., Hamouda, K., Babichev, A. P., Saidi, D., Halimi, D. (2012). The Impact of Mechanical Vibration on the Hardening of Metallic Surface. *Advanced Materials Research*, 626, 90–94. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.626.90>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240261

**DEVELOPMENT A MODEL OF ROBOT MOVEMENT WITH FIVE DEGREES OF FREEDOM FOR A WAREHOUSE**

pages 12–17

*Volodymyr Shvets*, Postgraduate Student, Department of Cyberphysical and Information-Measuring Systems, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, e-mail: [shvets.vo.s@nmu.one](mailto:shvets.vo.s@nmu.one), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7552-3215>

*Viktor Tkachov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Cyberphysical and Information-Measuring Systems, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2079-4923>

The object of research is a mathematical model describing the movement of a robot with five degrees of freedom for a warehouse. The work was aimed at analyzing the kinematic structure of the manipulator, on the basis of which the base and local coordinate systems were selected, as well as further formalized recording of the kinematic equations in matrix form. It is noted that one of the most problematic places is that the algorithms for controlling the robot most often contain local rules for the interaction of robots between themselves and the external environment, and emergent behavior is manifested as a result of the application of these rules, which does not have a formal description. Therefore, it is important to modernize the models describing the motion of a robot with five degrees of freedom for a warehouse. Using the matrix method, the sequence of constructing coordinate systems is described and its mathematical description is given, which will make it possible to eliminate this drawback in the future. The computer implementation of the developed algorithms was carried out using methods for processing matrix data structures. The principle of constructing a kinematic model of a robot is presented, with the help of which the main coordinate transformation matrices are obtained for robot with five degrees of freedom, and

the possibility of taking into account the size of the gaps in the joints is shown. The resulting model is obtained, which is proposed for use in building control algorithms for a robot with an automatic gap selection, as well as in robot calibration. This is due to the fact that the proposed model has a number of features, in particular, the basic coordinate system and the coordinate system of each link of robot with five degrees of freedom are taken into account. This makes it possible to obtain the values of the indicators for the projection of the robot position vector in the initial state, in the rotation of the fourth link at a well-defined angle and in the case of a vertically straightened manipulator. Compared to similar known studies, this provides advantages such as minimizing errors in position, speed and motion accuracy.

**Keywords:** robot control algorithm, degrees of freedom, orthonormal coordinate system, Denavit-Hartenberg transformations.

**References**

1. Hulianytskyi, L. F. (2015). Dynamichna zadacha poshuku nai-korotshoho shliakhu dlia zadachi pobudovy marshrutu. *Matematychni modelivannia v ekonomitsi*, 2, 39–50.
2. Kheilo, S. V. (2014). *Razrabotka nauchnykh osnov sozdaniia manipulyatsionnykh mekhanizmov paralelnoi struktury dlia robototekhnicheskikh sistem predpriatii tekstilnoi i legkoi promyshlennosti*. Moscow, 292.
3. Eraki, M. T. Kh. (2019). *Avtomatizirovannaia sistema upravleniia tekhnologicheskim manipulyatorom dlia rozliva i markirovki pishchevykh produktov*. Moscow, 120.
4. Melnyk, A. A. (2018). Kinematychna model robota z shistma stupeniami svobody i mozhlyvisti obliku zazoru v suhlobakh. *Naukovi pratsi DonNTU*, 10 (180), 112–120.
5. Galemov, R. T., Sochnev, A. N. (2015). Modernizatsiia sistemi upravleniia promyshlennogo robota «TUR-10K». *Prospekt Svobodni-2015*. Krasnoiar'sk, 8–11.
6. Zaritskiy, O. V. (2015). Klasyfikatsiia suchasnykh informatsiinykh system modelivannia. *Visnyk Chernihivskoho Derzhavnoho Tekhnolohichnoho unistytutu*, 1 (77), 98–107.
7. Syriamkin, V. I. (Ed.) (2018). *Kollektivny intellektualnykh robotov. Sfery primeneniia*. Tomsk: STT, 140.
8. Siciliano, B., Khatib, O. (2008). *Handbook of robotics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1611. doi: <http://doi.org/10.3390/app11073105>
9. Pivniak, H. H., Protsenko, S. M., Stadnik, M. I., Tkachov, V. V. (2007). *Detsentralizovane keruvannia*. Donetsk: Natsionalnyi hirnychiy universytet, 107.
10. Hunchenko, Yu. O., Muliar, I. V. (2015). Metod pobudovy intelektualnykh system planuvannia peremishchennia mobilnoho robota v nevidomomu seredovyschi. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu KNU im. T. Shevchenka*, 50, 23–28.
11. Angelo, J. A. (2007). *Robotics: A Reference Guide to the New Technology*. Westport: Greenwood Press, 417.

**TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY**

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.239476

**DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF ENERGY AND RESOURCE SAVING DURING THE OPERATION OF THE GAS PUMPING UNIT**

pages 18–24

*Mykhail Kologrivov*, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineer-

ing, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1959-8615>

*Vitalii Buzovskiy*, PhD, Assistant, Department of Oil and Gas Technologies, Engineering and Heat Power Engineering, Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, Ukraine, e-mail: [buzovskiy.v@gmail.com](mailto:buzovskiy.v@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6718-5001>

The object of research is the fuel gas system of a gas turbine engine. The study of the use of secondary energy resources of the gas-pumping unit at the compressor station of the main pipeline has been carried out. The work of a gas turbine engine, including the work of the fuel gas system, is considered. The main drawback of the fuel gas system is revealed – ineffective use of excess gas pressure. An informational analysis of the options that eliminate the identified drawback is carried out. It is shown that in order to eliminate the disadvantage, it is advisable to use a turbo-expander at the compressor station to utilize the excess pressure of the fuel gas. It is also shown that the operation of a fuel gas turboexpander to drive an additional air compressor as part of a gas turbine engine is impractical. An expander-generator set with the generation of additional electricity at the compressor station is recommended for use.

Modeling the operation of the utilization system made it possible to recommend constructive proposals for its improvement. A schematic diagram of a system for the complex utilization of excess pressure of fuel gas and heat of combustion products from the operation of a gas turbine engine is proposed. The system of complex utilization includes parts-generator unit, heat exchanger for cooling process gas and heat exchanger for firing gas. Regenerative heating of fuel gas up to 250 °C reduces energy consumption for heating it up to the ignition temperature.

A model of a robot installation of the type GPU 16/56-1.44 (Ukraine) is carried out. It is determined that when a component engine of the J-59 (Ukraine) type with a shaft power of 16 MW operates, it is possible to additionally receive 102 kW of electricity and save 64 m<sup>3</sup>/h of fuel gas. It is revealed that the subcooling of the process gas does not play a significant role in reducing energy consumption during its transportation. It is recommended to use the process gas to heat the cold fuel gas stream downstream of the turboexpander to positive temperatures. The integrated utilization system is not a simple connection of an expander-generator set and two heat exchangers along the flow of the fuel gas. As a result of its operation, a significant reduction in the consumption of fuel gas and electricity is achieved. The disadvantages that hinder the implementation of a comprehensive disposal system are identified. This is the use of equipment for generating electricity at a compressor station. It is uncharacteristic for the operation of the station and requires additional qualifications in service. It is also required that the characteristics of industrial expander-generator sets correspond to the fuel gas consumption of a gas turbine engine.

**Keywords:** fuel gas, gas turbine engine, disposal system, overpressure, thermal emissions, expander.

#### References

- Garris, N. A. (2009). *Resursoberegaiuschie tekhnologii pri magistralnom transporte gaza*. Saint Petersburg: OOO «Nedra», 368.
- Kologrivov, M. M., Sagala, T. A., Buzovskii, V. P. (2015). *Kotli-utilizatori*. Odessa: FOP Bondarenko M. O., 84.
- Kozachenko, A. N., Nikishin, V. I., Porshakov, B. P. (2001). *Energetika truboprovodnogo transporta gazov*. Moscow: GUP Izdatelstvo «Neft i gaz» RGU nefti i gaza im. I. M. Gubkina, 400.
- Shelkovskii, B. I., Pashotchenko, A. S., Zakharov, V. P. (1991). *Utilizatsiia i ispolzovanie vtorichnykh energoresursov kompressornykh stantsii*. Moscow: Nedra, 180.
- Shubenko, O. L., Sarapin, V. P., Sarapina, M. V., Kulish, V. M. (2018). Energy saving at gas compressor station by efficient use of fuel gas overpressure energy. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Hydraulic machines and hydraulic units*, 46 (1322), 10–16. Available at: <http://repositc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8809>
- Stepanets, A. A.; Trukhnii, A. D. (Ed.) (1999). *Energoberegaiuschie turbodetandernye ustanovki*. Moscow: Nedra-Biznest-sentr, 258.
- Javadi, S. M., Moghiman, M. (2012). Experimental study of natural gas temperature effects on the flame luminosity and NO emission. *International Journal of Spray and Combustion Dynamics*, 4 (2), 175–184. doi: <http://doi.org/10.1260/1756-8277.4.2.175>
- Basha, M., Shaahid, S. M., Al-Hadhrani, L. (2012). Impact of Fuels on Performance and Efficiency of Gas Turbine Power Plants. *Energy Procedia*, 14, 558–565. doi: <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.12.975>
- Marin, G., Mendeleev, D., Osipov, B., Akhmetshin, A. (2020). Study of the effect of fuel temperature on gas turbine performance. *E3S Web of Conferences*, 178, 01033. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202017801033>
- Marin, G. E., Mendeleev, D. I., Osipov, B. M. (2021). A study on the operation of a gas turbine unit using hydrogen as fuel. *Journal of Physics: Conference Series*, 1891 (1), 012055. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1891/1/012055>
- Khalatov, A. A., Dolinskii, A. A., Kostenko, D. A., Parafeinik, V. P. (2010). Sostoianie i problemy razvitiia mekhanicheskogo privoda dlia GTS Ukrainy. *Promyshlennaia teplotekhnika*, 32 (1), 44–53. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60483/07-Khalatov.pdf?sequence=1>
- Kompressormoe oborudovanie i gazoperekachichaiuschie agregaty* (2019). Sumy: PAO «Sumskoe NPO», 151. Available at: [http://snpo.ua/wp-content/uploads/2017/06/sumy\\_npo\\_compressor\\_equipment\\_and\\_GPU\\_ru.pdf](http://snpo.ua/wp-content/uploads/2017/06/sumy_npo_compressor_equipment_and_GPU_ru.pdf)
- Tekhnicheskie kharakteristiki gazoturbinykh agregatov i ustanovok «Zoria – Mashproekt»*. Available at: [https://manbw.ru/analitics/tehnicheskie-harakteristiki-gazoturbinyh\\_zorya-mash-proekt.html](https://manbw.ru/analitics/tehnicheskie-harakteristiki-gazoturbinyh_zorya-mash-proekt.html)

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240263

### MODERNIZATION OF ELECTRICAL COMPLEX FOR PRODUCING THERMAL ENERGY FOR AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

pages 25–32

*Yevheniia Chebotarova*, Postgraduate Student, Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University, Kremenchuk, Ukraine, e-mail: [yevheniia.ch93@gmail.com](mailto:yevheniia.ch93@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4725-7914>

*Andrii Perecrest*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University, Kremenchuk, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7728-9020>

The object of research is the electrical complex for the preparation of thermal energy at the enterprise. The electro-technical complex is a heat supply unit that provides thermal energy to the building of the enterprise for the needs of heating, ventilation and hot water supply. One of the identified shortcomings of this facility is the overconsumption of energy resources for heating, caused by the lack of the ability to control consumption. Modernization of heat points and equipping them with automation means will provide quantitative

and qualitative control of the heat carrier depending on the outside air temperature.

In the course of the study, the method of statistical data analysis was used to analyze the heat load of buildings for heating, ventilation and hot water supply, and the distribution of heat loads by the temperature of the indoor air. Also, an improved discounted method for evaluating the effectiveness of investment projects was used when calculating economic indicators and a method for calculating heat consumption for heating according to aggregated indicators when determining energy consumption for heating.

On the basis of the analysis of the heat load and a certain structure of its distribution according to the temperature of the internal air, it was found that more energy resources are consumed for heating. The largest consumer is defined as a building with an internal temperature  $T_{in}=16^{\circ}\text{C}$ . Calculations of the commercial attractiveness of the proposed technical solutions for buildings with an internal temperature  $T_{in}=18^{\circ}\text{C}$  have confirmed the feasibility of their implementation in terms of their payback, which does not exceed the period of 3.5 heated seasons.

Thanks to the modernization of heat points and the introduction of automated monitoring and regulation systems, optimal heat energy consumption will be ensured depending on the ambient temperature. Unlike other similar studies, the feasibility of introducing automated systems is determined by an improved discounted method, which allows not only to take into account the change in the value of money in the future, but also the required minimum percentage of thermal energy savings to break even projects.

**Keywords:** automation of heating units, load distribution, electrical complex, energy demand, efficiency assessment, discounted method.

#### References

- Zarubizhnyi dosvid z pidvyshchennia enerhetychnoi efektyvnosti ta vprovadzhennia novykh tekhnolohii vyrobnytstva elektrychnoi enerhii (2014). Viddil informatsiino-analitychnoho zabezpechenia zarubizhnoi informatsiiei VP NTTSE DP «NEK «Ukr-enerho». Kyiv. Available at: [https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Efektyvn\\_vyrobn\\_elektroenergiyi.pdf](https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Efektyvn_vyrobn_elektroenergiyi.pdf)
- Derzhavna sluzhba statystyky. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
- Ilin, R. A., Stoliarov, D. V. (2015). Kompleksnaia modernizatsiia teplovykh punktov v sistemakh tsentralizovannogo teplo-snabzheniia. *Simvol nauki*, 12-1, 42–45.
- Mironov, N., Petrosova, D. (2015). Economic Efficiency of Automated Individual Heating Substation (IHS). *Applied Mechanics and Materials*, 725-726, 1285–1291. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.725-726.1285>
- Demirovic, N. (2016). Techniques to Achieve Energy Efficient Heating Substation. *ERK'2014, Portorož, A*, 205–208. doi: <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4146.7924>
- Vitězslav, M., Havlásek, M. (2016). Integration of Air to Water Heat Pumps into Industrial District Heating Substations. *Chemical Engineering Transactions*, 52, 739–744. doi: <http://doi.org/10.3303/CET1652124>
- Zvonareva, Y. N., Ziganshin, S. G., Izmaylova, E. V., Gavrilov, A. S., Moryashev, A. V., Kolcun, M. (2019). Efficiency of systems of heat supply with introduction of automated individual heating substations. *E3S Web of Conferences*, 124, 01026. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/201912401026>
- Gustafsson, J., Delsing, J., van Deventer, J. (2010). Improved district heating substation efficiency with a new control strategy. *Applied Energy*, 87 (6), 1996–2004. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.12.015>
- Castro Flores, J. F. (2016). Energetic and exergetic analysis of alternative low-temperature based district heating substations arrangements. *International Journal of Thermodynamics*, 19 (2), 71. doi: <http://doi.org/10.5541/ijot.5000148882>
- Gadd, H., Werner, S. (2013). Heat load patterns in district heating substations. *Applied Energy*, 108, 176–183. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.062>
- Noussan, M., Jarre, M., Poggio, A. (2017). Real operation data analysis on district heating load patterns. *Energy*, 129, 70–78. doi: <http://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.079>
- Perekrest, A. L., Romanenko, S. S., Naida, V. V. (2012). Optymizatsiia protsesu teplopostachannia navchalnoho zakladu. *Enerhozberzhennia, enerhetyka, enerhoaudyt*, 11 (105), 2–8.
- Perekrest, A., Khovrak, I., Chebotareva, Ye. (2016). Peculiarities of assessing economic efficiency of implementing energy saving solutions in civil building. *Electromechanical and energy saving systems*, 2 (34), 124–132.
- Chebotarova, Ye. (2020). Avtomatyzatsiia rozrakhunku prohnozovanykh pokaznykiv vprovadzhennia enerhozberihaiuchykh rishen. *Kontrol i upravlinnia v skladnykh systemakh (KUSS-2020)*. Available at: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/30638>

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.241972

### INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE HETEROGENEOUS PERMEABILITY DISTRIBUTION ON THE OIL PHASE DISPLACEMENT PROCESSES

pages 33–40

**Michail Lubkov**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director, Poltava Gravimetric Observatory within S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2680-9508>

**Oksana Zakharchuk**, Postgraduate Student, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, e-mail: [oksanazakharchuk@nupp.edu.ua](mailto:oksanazakharchuk@nupp.edu.ua), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4229-1964>

**Viktoriiia Dmytrenko**, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1678-2575>

**Oleksandr Petrash**, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8151-6460>

The object of research is the filtration processes of displacement of the oil phase under the influence of an injection well in a heterogeneous porous medium. It is possible to evaluate and take into account the effect of reservoir heterogeneity on the distribution of reservoir pressure (and, consequently, on the intensity of the filtration process) using numerical modeling of filtration processes based on the piezo-electric equation. To solve the non-stationary anisotropic problem of piezoconductivity, it is proposed to apply the combined finite-element-difference method of M. Lubkov, which makes it possible to take into account the inhomogeneous

distribution of permeability inside the anisotropic oil-bearing formation and at its boundaries, and to adequately calculate the distribution of reservoir pressure. The use of the combined finite-element-difference method allows to combine the advantages of the finite-element method and the finite difference method: to model geometrically complex areas, to find the value at any point of the object under study. At the same time, the use of an implicit difference scheme when finding the nodal values of the grid provides high reliability and convergence of the results.

The simulation results show that the distribution of the pressure field between the production and injection wells significantly depends on their location, both in the isotropic landslide and in the anisotropic oil-bearing reservoir. It is shown that the distance between the wells of more than 1 km levels out the effectiveness of the impact of the injection well on the oil filtration process. The influence of the permeability of the oil phase in the shear direction dominates the influence of the permeability in the axial directions (affects the pressure decrease by 4–9.5 %). In the case of a landslide-isotropic reservoir, the wells should be located in the shear (diagonal) direction, which will provide the lowest level of drop in the average reservoir pressure (by 4 %).

Based on the information obtained, for the effective use of anisotropic low-permeability formations, it is necessary to place production and injection wells in areas with relatively low anisotropy of the formation permeability, especially to avoid places with the presence of landslide permeability of the formation. The location of the wells is important so that, on the one hand, there is no blockage of oil from the side of reduced permeability, and on the other hand, rapid depletion of the formation from the side of increased permeability does not occur. And also the mutual exchange between the production and injection wells did not stop. When placing a system of production and injection wells in anisotropic formations of an oil field, it is necessary to carry out a systematic analysis of the surrounding anisotropy of the formations in order to place them in such a way that would ensure effective dynamics of filtration processes around these wells. Using the method used, it is possible to predict the impact of an injection well on the distribution of reservoir pressure in the reservoir.

**Keywords:** oil-bearing reservoirs, anisotropic filtration processes, piezoconductivity equation, finite element-difference method, reservoir pressure distribution.

#### References

1. Basniev, K. S., Dmitriev, N. M., Rozenberg, G. D. (2003). *Neftgazovaya gidromekhanika*. Moscow: Institut kompyuternykh issledovaniy, 479.
2. Lebedinets, I. P. (1997). *Izuchenie i razrabotka neftyanykh mestorozhdenii s treschinovatyimi kollektorami*. Moscow: Nauka, 231.
3. Mischenko, I. T. (2015). *Skvazhinnaya dobycha nefi*. Moscow: RGU nefi i gaza im. I. M. Gubkina, 448.
4. Aziz, Kh., Settari, E. (2004). *Matematicheskoe modelirovanie plastovyykh sistem*. Moscow: Institut kompyuternykh issledovaniy, 416.
5. Blunt, M. J. (2001). Flow in porous media – pore-network models and multiphase flow. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 6 (3), 197–207. doi: [http://doi.org/10.1016/S1359-0294\(01\)00084-X](http://doi.org/10.1016/S1359-0294(01)00084-X)
6. Ertekin, T., Abou-Kassem, J. H., King, G. R. (2001). *Basic applied reservoir simulation*. Texas: Richardson, 421.
7. Chen, Z., Huan, G., Ma, Y. (2006). *Computational methods for multiphase flows in porous media*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 521. doi: <http://doi.org/10.1137/1.9780898718942>
8. Shabro, V., Torres-Verdin, C., Javadpour, F., Sepehrnoori, K. (2012). Finite-Difference Approximation for Fluid-Flow Simulation and Calculation of Permeability in Porous Media. *Transport in Porous Media*, 94 (3), 775–793. doi: <http://doi.org/10.1007/s11242-012-0024-y>
9. Lubkov, M. V. (2016). *Viazkopruzheni ta teplovi protsesy v heodynamitsi (doslidzhennia v ramkakh variatsiinoi skincheno-elementnoi metodyky)*. Kyiv, 331.
10. Kanevskaya, R. D. (2003). *Matematicheskoe modelirovanie razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov*. Moscow: Institut kompyuternykh issledovaniy, 128.
11. Grattoni, C. A., Dawe, R. A. (1995). Anisotropy in pore structure of porous media. *Powder Technology*, 85 (2), 143–151. doi: [http://doi.org/10.1016/0032-5910\(95\)03016-3](http://doi.org/10.1016/0032-5910(95)03016-3)
12. Chen, Z. (2005). *Finite Element Methods and Their Applications*. New York: Springer, 410.
13. Collet, O., Gurevich, B. (2013). Fluid dependence of anisotropy parameters in weakly anisotropic porous media. *Geophysics*, 78 (5), 137–145. doi: <http://doi.org/10.1190/geo2012-0499.1>
14. Shangaraeva, A. I., Shevchenko, D. V. (2015). Speed up of the oil saturation numerical algorithm for the plane-parallel filtration. *Applied Mathematical Sciences*, 9, 7467–7474. doi: <http://doi.org/10.12988/ams.2015.510683>
15. Dekker, T. J., Abriola, L. M. (2000). The influence of field-scale heterogeneity on the infiltration and entrapment of dense nonaqueous phase liquids in saturated formations. *Journal of Contaminant Hydrology*, 42 (2-4), 187–218. doi: [http://doi.org/10.1016/S0169-7722\(99\)00092-3](http://doi.org/10.1016/S0169-7722(99)00092-3)

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240260

#### IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR MINING SOLID MINERAL RESOURCES

pages 41–45

*Anatolii Novak*, PhD, Associate Professor, Department of Organization and Production Automation, Technical University Metinvest Polytechnic, Mariupol, Ukraine, e-mail: [Anatolii.Novak@mipolytech.education](mailto:Anatolii.Novak@mipolytech.education), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4852-3233>

*Eduard Fesenko*, PhD, Associate Professor, Department of Organization and Production Automation, Technical University Metinvest Polytechnic, Mariupol, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7641-642X>

*Yevhen Pavlov*, PhD, Associate Professor, Department of Organization and Production Automation, Technical University Metinvest Polytechnic, Mariupol, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3662-0477>

The object of research is the technological processes of the development of deposits and the extraction of solid minerals by underground and open-pit methods. The improvement of technological processes is achieved through the use of existing original technical solutions, which are currently advisable to use in practice. The work is aimed at increasing the efficiency of explosive energy use, improving the technological processes of mining operations in coal mines and open pits of mining enterprises.

In the course of the study, an analysis of technical literature on mining topics was used, a search for copyright

certificates for inventions and patents on the same topic was carried out. There was a search for innovative solutions that are expedient to apply at the present time. In the course of the analysis, the work shows ideas, methods of coal mining, systems for the development of coal seams, methods of destruction of rocks, microbiological reclamation and other new technologies and devices. The most promising technologies have been proposed for in-depth study, implementation and use in appropriate mining and geological conditions. The proposed technologies, for various reasons, have not yet found wide practical application at mining enterprises. Due to the application of the proposed technical solutions and technologies in practice in the conditions of existing coal mines and open pits, significant economic, environmental and financial effects can be obtained.

This study was carried out in order to bring to a wide circle of specialists technical solutions that can contribute to a significant improvement in the technology of mining solid minerals, both in underground and open-pit mining all over the world.

**Keywords:** systems of underground mining of coal seams, interference of blast waves, open-pit mining.

### References

- Bondarenko, V., Symanovych, H., Kicki, J., Barabash, M., Saliiev, I. (2019). The influence of rigidity of the collapsed roof rocks in the mined-out space on the state of the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 13 (2), 27–33. doi: <http://doi.org/10.33271/mining13.02.027>
- Gong, P., Ma, Z., Zhang, R. R., Ni, X., Liu, F., Huang, Z. (2017). Surrounding Rock Deformation Mechanism and Control Technology for Gob-Side Entry Retaining with Fully Mechanized Gangue Backfilling Mining: A Case Study. *Shock and Vibration*, 2017, 1–15. doi: <http://doi.org/10.1155/2017/6085941>
- Nehrii, S., Sakhno, S., Sakhno, I., Nehrii, T. (2018). Analyzing kinetics of deformation of boundary rocks of mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, 12 (4), 115–120. doi: <http://doi.org/10.15407/mining12.04.115>
- Shi, X., Jing, H., Ning, J., Zhao, Z., Zhu, J. (2020). Stability Control of Gob-Side Entry Retaining in Fully Mechanized Caving Face Based on a Compatible Deformation Model. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 124 (1), 315–343. doi: <http://doi.org/10.32604/cmescs.2020.07955>
- Qi, F., Ma, Z. (2019). Investigation of the Roof Presplitting and Rock Mass Filling Approach on Controlling Large Deformations and Coal Bumps in Deep High-Stress Roadways. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16 (4). doi: <http://doi.org/10.1590/1679-78255586>
- Iordanov, I., Novikova, Y., Simonova, Y., Korol, A., Podkopayev, Y., Kayun, O. et. al. (2020). Determining stability conditions for haulage drifts protected by coal pillars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (1 (108)), 72–81. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216530>
- Zhou, P., Wang, Y., Zhu, G., Gao, Y. (2019). Comparative analysis of the mine pressure at non-pillar longwall mining by roof cutting and traditional longwall mining. *Journal of Geophysics and Engineering*, 16 (2), 423–438. doi: <http://doi.org/10.1093/jge/gxz026>
- Galvin, J. M. (2016). *Ground Engineering – Principles and Practices for Underground Coal Mining*. New York, London: Springer International Publishing Switzerland, 684. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-25005-2>
- Feng, G., Wang, P., Chugh, Y. P., Zhao, J., Wang, Z., Zhang, Z. (2018). A Coal Burst Mitigation Strategy for Tailgate during Deep Mining of Inclined Longwall Top Coal Caving Panels at Huafeng Coal Mine. *Shock and Vibration*, 2018, 1–18. doi: <http://doi.org/10.1155/2018/5929785>
- Mishra, B., Tang, X. (2015). Stability analyses of bleeder pillars in longwall mines by displacement-discontinuity method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (6), 933–941. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ijmst.2015.09.009>
- Ngwenyama, P. L., de Graaf, W. W., Preis, E. P. (2017). Factors and challenges affecting coal recovery by opencast pillar mining in the Witbank coalfield. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117 (3), 215–222. doi: <http://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n3a2>
- Skrzypkowski, K. (2020). Decreasing Mining Losses for the Room and Pillar Method by Replacing the Inter-Room Pillars by the Construction of Wooden Cribs Filled with Waste Rocks. *Energies*, 13 (14), 3564. doi: <http://doi.org/10.3390/en13143564>
- Yu, Z., Wen, H., Chen, X., Zhang, C. (2018). Integrated Approaches for Extinguishing the Fire of Coal Pillars in Contiguous Coal Seams. *Procedia Engineering*, 211, 963–971. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.098>
- Szurgacz, D., Tutak, M., Brodny, J., Sobik, L., Zhironkina, O. (2020). The Method of Combating Coal Spontaneous Combustion Hazard in Goafs – A Case Study. *Energies*, 13 (17), 4538. doi: <http://doi.org/10.3390/en13174538>
- Wang, X., Xie, J., Xu, J., Zhu, W., Wang, L. (2021). Effects of Coal Mining Height and Width on Overburden Subsidence in Longwall Pier-Column Backfilling. *Applied Sciences*, 11 (7), 3105. doi: <http://doi.org/10.3390/app11073105>
- Zhao, H. (2019). State-of-the-art of standing supports for gob-side entry retaining technology in China. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119 (11), 891–906. doi: <http://doi.org/10.17159/2411-9717/17/449/2019>
- Gao, Y., Liu, D., Zhang, X., He, M. (2017). Analysis and Optimization of Entry Stability in Underground Longwall Mining. *Sustainability*, 9 (11), 2079. doi: <http://doi.org/10.3390/su9112079>
- Skrzypkowski, K. (2020). Comparative Analysis of the Mining Cribs Models Filled with Gangue. *Energies*, 13 (20), 5290. doi: <http://doi.org/10.3390/en13205290>
- Wang, X., Xie, J., Xu, J., Zhu, W., Wang, L. (2021). Effects of Coal Mining Height and Width on Overburden Subsidence in Longwall Pier-Column Backfilling. *Applied Sciences*, 11 (7), 3105. doi: <http://doi.org/10.3390/app11073105>
- Tischenko, V. A., Novak, A. I., Okalelov, V. N., Belozertsev, V. N., Podtykalov, A. S., Antiukhov, S. V. (1986). Avt. sv-vo SSSR No. 1244316. *Sposob razrabotki pologikh tonkikh ugolnykh plastov*. Gosudarstvennii komitet SSSR po delam izobretenii i otkrytii. B. I. No. 26.
- Belozertsev, V. N., Tischenko, V. A., Novak, A. I., Okalelov, V. N., Antiukhov, S. V. (1987). Avt. sv-vo SSSR No. 1330314. *Sposob razrabotki krutykh plastov, sklonnykh k vnezapnym vybrosam uglia i gaza*. Gosudarstvennii komitet SSSR po delam izobretenii i otkrytii. B. I. No. 30. 15.08.1987.
- Novak, A. I., Belozertsev, V. N., Tischenko, V. A., Okalelov, V. N. (1988). Avt. sv-vo SSSR No. 1401130. *Sposob upravleniia trudnoobrushaemoi krovlei*. Gosudarstvennii komitet SSSR po delam izobretenii i otkrytii. B. I. No. 21. 07.06.1988.
- Novak, A. I. (2019). Pat. No. 136031 UA. *Sposib ruinuvannia hirnychyykh porid vybukhom*. MPK: F42D 3/04 (2006.01). No. u201902516. declared: 14.03.2019; published: 25.07.2019. Bul. No. 14.
- Novak, A. I., Semeniuk, V. V. (2020). Pat. No. 139694 UA. *Sposib rekultyvatsii zemel, porushenykh hirnychymy robotamy*. No. u201907716. declared: 08.07.2019; published: 10.01.2020. Bul. No. 1.

## ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240250

**RESEARCH OF HYDRODYNAMICS OF GAS FLOW FILTRATION THROUGH A STATIONARY LAYER OF CRUSHED COTTON STALKS (WILD COTTON)**

pages 46–51

*Zagira Kobeyeva*, PhD, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7471-5098>

*Alisher Khussanov*, PhD, Associate Professor, Department of Technological Machines and equipment, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1563-6437>

*Volodymyr Atamanyuk*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Chemical Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: [atamanyuk@ukr.net](mailto:atamanyuk@ukr.net), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8707-2319>

*Zoriana Hnatio*, PhD, Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7252-2789>

*Botagoz Kaldybayeva*, PhD, Associate Professor, Department of Standardization and Certification, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1570-2107>

*Dauren Janabayev*, PhD, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6522-0536>

The object of this research is the hydrodynamics of the stationary layer of crushed cotton stalks. One of the most problematic areas is the influence of the physical and mechanical characteristics of the stationary layer of crushed cotton stalks on the hydrodynamics of filtration drying.

In the course of research, methods of physical and mathematical modeling are used. Sieve analysis is used to determine the granulometric composition of the polydisperse mixture of crushed cotton stalks.

The granulometric composition of the crushed stalks of cotton is determined and the graphical dependence of the percentage of each fraction is presented. The hydrodynamics of gas flow filtration through a stationary layer of crushed cotton stalks are experimentally investigated, and a graphical dependence of pressure losses on the fictitious rate of gas flow filtration is presented. It is found that pressure losses in the stationary layer of crushed cotton stalks are parabolic, which indicates the influence of both inertial and viscous components on pressure losses. The unknown coefficients of the modified Ergun equation are determined on the basis of experimental data. The correlation dependence between the experimental and theoretically calculated values is presented and it is shown that the maximum relative error is 9.6 %, which is quite acceptable for practical calculations. The results of experimental studies are also presented in the form of a graphical dependence of the Euler number on the Reynolds number. Based on the generalization of the experimental data, the calculated dependences are obtained

in the form of dimensionless complexes, which describe the hydrodynamics of the gas flow filtration through a stationary layer of crushed cotton stalks. This makes it possible to predict the energy costs for creating a differential pressure, with an accuracy sufficient for practical calculations. The ratio of the experimental values of pressure losses to the theoretically calculated ones, depending on the Reynolds number, is graphically presented. It is shown that the maximum relative error does not exceed 8 %. The proposed generalizations of experimental data will make it possible to determine the energy consumption for creating a pressure drop at the design stage of the drying equipment, as well as to calculate the optimal process parameters and predict its economic feasibility.

**Keywords:** cotton stalks, particle size distribution, porosity, pressure loss, stationary layer, fibrous particles.

**References**

1. *Ob utverzhdenii Gosudarstvennoi programmy razvitiia agropromyshlennogo kompleksa Respubliki Kazakhstan na 2017–2021 gody* (2018). Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan No. 423. 12.07.2018. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000423>
2. Kobuliev, Z. V. (2006). Beton s zapolnitelem iz droblennykh stebli khlopchatnika. *Zhilishchnoe Stroitelstvo*, 8, 30–31.
3. Beregovoi, V. A., Beregovoi, A. M. (2012). *Penoarbolity na osnove otkhodov derevoobrabatyi i sel'skokhoziaistvennykh proizvodstv v stroitelstve*. Penza: PGUAS, 136.
4. Dzhumaev, D. S. (2012). Arbolit na osnove stebli khlopchatnika i tekhnologicheskie osobennosti ego izgotovleniia. *Vestnik KGUSTA*, 3 (37), 10–15.
5. Negmatov, S. S., Holmurodova, D. K., Abed, N. S., Negmatova, K. S., Boydadaev, M. B., Tulyaganova, V. S. (2020). Development of effective compositions of composite wood-plastic board materials based on local raw materials and industrial waste. *Plasticheskie Massy*, 1 (11-12), 28–32. doi: <http://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-11-12-28-32>
6. Negmatov, S. S., Kholmurodova, D. K., Abed, Sh. Zh., Buriev, N. I., Askarov, K. A., Saidov, M. M. et al. (2010). *Tekhnologiya poluchenii napolnitelei iz stebli khlopchatnika dlia proizvodstva kompozitsionnykh drevnesno-plastikovykh materialov*. Tashkent: GUP «Fan va tarakkiet».
7. Serbina, T. V. (1993). *Razrabotka tekhnologii aktivnykh uglei iz guza-pai (otkhoda khlopchatnika)*. Moscow, 223.
8. Kedelbaev, B. Sh., Esimova, A. M., Narymbaeva, Z. K., Abildaeva, R. A., Kudasova, D. E. (2015). Issledovanie protsessa poluchenii polisakharidov iz guza-pai. *Mezhdunarodnii zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniia*, 10, 27–28.
9. Sushkova, V. I., Vorobeva, G. I. (2007). *Bezotkhodnaia konversia rastitelnogo syria v biologicheski aktivnye veschestva*. Kirov, 204.
10. Sikkema, R., Steiner, M., Junginger, M., Hiegl, W., Hansen, M. T., Faaij, A. (2011). The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5 (3), 250–278. doi: <http://doi.org/10.1002/bbb.277>
11. Stolarski, M. J., Szczukowski, S., Tworkowski, J., Krzyżaniak, M., Gulczyński, P., Mleczeek, M. (2013). Comparison of quality and production cost of briquettes made from agricultural and forest origin biomass. *Renewable Energy*, 57, 20–26. doi: <http://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.005>
12. Atamaniuk, V. M., Humnytskyi, Ya. M. (2013). *Naukovi osnovy filtratsiinoho sushinnia dyspersyinykh materialiv*. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika», 276.

13. Rudobashta, S. P., Dmitriev, V. M. (2005). Rol gidrodinamiki potokov v nepreryvno deistvuiuschikh sushilkakh s dispersnoi tverdoi fazoi. *Sovremennye energoberegaiushchie teplovyie tekhnologii (sushka i teplovyie protsessy)*. Moscow, 1, 51–58.
14. Aerov, M. E., Todes, O. M., Narinskii, D. A. (1979). *Apparaty so statsionarnym zernistym sloem*. Leningrad: Khimiia, 176.
15. Atamaniuk, V. M., Khanyk, Ia. N. (2002). *Gidrodinamika filtratsionnoi sushki zernistykh materialov. Sovremennye energoberegaiushchie teplovyie tekhnologii*. Moscow: Izd-vo «Merkuri», 4, 148–152.
16. Khanyk, Ya. M., Yaser, A.-A. (1996). Hidrodinamika filtratsionnoho protsesu sushinnia pisku. *Khimichna Promyslovist Ukrainy*, 6, 33–37.
17. Huzova, I. O., Khanyk, Ya. M. (2000). Hidrodinamika filtratsionnoho sushinnia dyspersnykh materialiv. *Visnyk NU «Lvivska Politehnika»*. *Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia*, 414, 168–171.
18. Atamaniuk, V. M. (2006). Hidrodinamika filtratsionnoho sushinnia dyspersnoho materialu. *Vseukrainskyi Nauk.-Tekhn. Zhurnal. Promyslova Hidravlika i Pnevmatyka*, 1 (11), 12–17.
19. Atamaniuk, V. M., Khanik, Ia. N. (2005). Hidrodinamika i kinetika filtratsionnoi sushki dyspersnykh materialov. *Sovremennye Energoberegaiushchie Teplovyie Tekhnologii*, 208–211.
20. Gelperin, N. I. (1981). *Osnovnye protsessy i apparaty khimicheskoi tekhnologii*. Moscow: Khimiia, 384.



**MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY**

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.242256

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН** сторінки 6–11**Дудніков А. А., Дудніков І. А., Дудник В. В., Михайліченко В. В., Бурлака О. А., Камівець О. В.**

Об'єктом дослідження є технологічний процес підвищення терміну служби стрілочастих культиваторних лап ґрунтообробних машин за рахунок застосування прогресивного методу вібраційного зміцнення. Одним з найбільш проблемних місць є неналежне вивчення досліджуваного технологічного процесу відновлення робочих органів сільськогосподарських машин. З метою більш глибоких уявлень про процес вібраційної обробки матеріалу даних деталей машин при їх відновленні необхідне проведення подальших експериментальних досліджень.

В ході дослідження встановлено, що використання вібраційного деформування поверхневого шару матеріалу деталей сприяє підвищенню їх ресурсу. Визначено оптимальні параметри вібраційного зміцнення ріжучих елементів культиваторних лап ґрунтообробних машин, що дозволяє підвищити їх довговічність. Виявлено основні параметри вібраційного зміцнення: амплітуда коливань обробного інструменту – 0,75 мм; частота коливань –  $1400 \text{ хв}^{-1}$ ; час зміцнення – 30 с.

В результаті дослідження проведено оцінку зміни лінійного зносу по ширині ріжучого елемента стрілочастих культиваторних лап ґрунтообробних машин. У культиваторів з лапами, відновленими приварюванням кутових пластин зі сталі 45 (ГОСТ 1050-2013, GB 699-88), наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням, величина лінійного зносу по масі ріжучих елементів менше на 35–43 %, ніж у нових лап. Проведено дослідження зміни зносу ріжучої кромки культиваторних лап, яка при відновленні приварюванням кутових пластин зі сталі 45 (ГОСТ 1050-2013, GB 699-88), наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням, в 1,57–1,68 рази менше, ніж у нових лап.

У порівнянні з існуючими технологіями, розроблена технологія забезпечує зниження зносу ріжучих елементів на 10–17 %, в порівнянні з новими зі сталі 65Г (ГОСТ 14959-2016, GB 1222). Коефіцієнт технічного використання культиваторного агрегату з лапами, відновленими за розробленою технологією, в порівнянні з новими, в 1,07 рази вище.

**Ключові слова:** вібраційні коливання, лінійний знос, культиваторна лапа, ріжуча кромка, ґрунтообробні машини, вібраційне зміцнення.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240261

**СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ РУХУ РОБОТА С П'ЯТЬМА СТУПЕНЯМИ СВОБОДИ ДЛЯ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ** сторінки 12–17**Швець В. С., Ткачов В. В.**

Об'єктом дослідження є математична модель, що описує рух робота з п'ятьма ступенями свободи для складського приміщення. Робота була направлена на аналіз кінематичної структури маніпулятора, на основі якого було обрано базову та локальні системи координат, а також подальше проведення формалізованого запису рівнянь кінематики в матричному вигляді. Зазначено, що одним з найбільш проблемних місць є те що, алгоритми управління роботом найчастіше містять локальні правила взаємодії роботів між собою та зовнішнім середовищем, а емерджентна поведінка, що виявляється в результаті застосування цих правил, не має формального опису. Тому важливим є модернізація моделей, що описують рух робота з п'ятьма ступенями свободи для складського приміщення. За допомогою матричного методу описано послідовність побудови систем координат та наведено його математичний опис, що дозволить в перспективі усунути даний недолік. Комп'ютерна реалізація розроблених алгоритмів проводилася з використанням методів обробки матричних структур даних. Представлено принцип побудови кінематичної моделі робота, за допомогою якого отримано основні матриці перетворення координат робота з п'ятьма ступенями свободи, показана можливість обліку величини зазорів в суглобах. Отримано результуючу модель, яка пропонується для використання при побудові алгоритмів управління роботом з автоматичним вибором зазору, а також при калібруванні робота. Це пов'язано з тим, що запропонована модель має ряд особливостей, зокрема, враховуються базова система координат і система координат кожної ланки робота з п'ятьма ступенями свободи. Завдяки цьому забезпечується можливість отримання значень показників для проекції вектору положення робота в початковому стані, в повороті четвертої ланки на чітко визначений кут та у випадку вертикально випрямленого маніпулятора. У порівнянні з аналогічними відомими дослідженнями, це забезпечує такі переваги, як мінімізацію помилок по положенню, швидкості та точності руху.

**Ключові слова:** алгоритм управління роботом, ступені свободи, ортонормована система координат, перетворення Денавіта-Хартенберга.

**TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY**

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.239476

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ГАЗУ** сторінки 18–24**Кологривов М. М., Бузовський В. П.**

Об'єктом дослідження є система паливного газу газотурбінного двигуна. Проведено дослідження використання вторинних енергетичних ресурсів газоперекачувального агрегату на компресорній станції магістрального трубопроводу. Розглянуто роботу газотурбінного двигуна, в тому числі робота системи паливного газу. Виявлено основний недолік роботи системи паливного газу – неефективне використання надлишкового тиску газу. Проведено інформаційний аналіз варіантів, які усувають виявлений недолік. Показано, що для усунення недоліку на компресорній станції доцільно використовувати турбодетандер утилізації надлишкового тиску паливного газу. Також показано, що робота турбодетандера паливного газу для приводу додаткового повітряного компресора

в складі газотурбінного двигуна недоцільна. Рекомендовано до застосування детандер-генераторний агрегат з виробленням додаткової електроенергії на компресорній станції.

Моделювання роботи системи утилізації дозволило рекомендувати конструктивні пропозиції для її удосконалення. Запропоновано принципову схему системи комплексної утилізації надлишкового тиску паливного газу та теплоти продуктів згоряння від роботи газотурбінного двигуна. Система комплексної утилізації включає детандер-генераторний агрегат, теплообмінник підохолодження технологічного газу та теплообмінник підігріву паливного газу. Регенеративний підігрів паливного газу до 250 °C знижує витрати енергії для його підігріву до температури займання.

Проведено моделювання роботи установки типу ГПУ 16/56-1,44 (Україна). Визначено, що при роботі комплекуючого двигуна типу ДЖ-59 (Україна) з потужністю на валу 16 МВт можливо додатково отримувати 102 кВт електроенергії та економити 64 м<sup>3</sup>/год паливного газу. Виявлено, що підохолодження технологічного газу не відіграє суттєвої ролі в зниженні енерговитрат при його транспортуванні. Рекомендовано використовувати технологічний газ для нагріву холодного потоку паливного газу після турбодетандера до позитивних температур. Система комплексної утилізації не є простим з'єднанням детандер-генераторного агрегату та двох теплообмінників по ходу потоку паливного газу. В результаті її роботи досягається істотне зниження споживання паливного газу та електроенергії на станції. Названі недоліки, які перешкоджають впровадженню системи комплексної утилізації. Це застосування на компресорній станції обладнання для отримання електроенергії. Воно є нехарактерним для роботи станції та вимагає додаткової кваліфікації в обслуговуванні. Також потрібна відповідність характеристик промислових детандер-генераторних агрегатів витраті паливного газу газотурбінного двигуна.

**Ключові слова:** паливний газ, газотурбінний двигун, система утилізації, надлишковий тиск, теплові викиди, детандер.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240263

### **МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ПРИГОТУВАННЯ ТЕПЛОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА** сторінки 25–32

**Чеботарьова Є. О., Перекрест А. Л.**

Об'єктом дослідження є електротехнічний комплекс приготування теплової енергії на підприємстві. Електротехнічний комплекс представляє собою теплові пункти, що забезпечують тепловою енергією будівлі підприємства для потреб опалення, вентиляції та гарячого водопостачання. Одним з виявлених недоліків даного об'єкту є перевитрати енергоресурсу на опалення, що викликана відсутністю можливості керування споживанням. Модернізація теплових пунктів та оснащення їх засобами автоматизації дозволять забезпечити кількісно-якісне керування теплоносієм в залежності від температури зовнішнього повітря.

В ході дослідження використовувався метод статистичного аналізу даних при аналізі теплового навантаження будівель за опаленням, вентиляцією та гарячим водопостачанням, та розподілу теплових навантажень за температурою внутрішнього повітря. Також використовувалися удосконалений дисконтований метод оцінки ефективності інвестиційних проєктів при розрахунку економічних показників та методика розрахунку витрат тепла на опалення за укрупненими показниками при визначенні енергопотреб на опалення.

На основі проведеного аналізу теплового навантаження та визначеної структури його розподілу за температурою внутрішнього повітря з'ясовано, що найбільше витрат енергоресурсів приходить на опалення. Найбільшим споживачем визначено будівлі з внутрішньою температурою  $T_{\text{вн}} = 16$  °C. Проведені розрахунки комерційної привабливості пропонуваніх технічних рішень для будівель з внутрішньою температурою  $T_{\text{вн}} = 18$  °C підтвердили доцільність їх впровадження з точки зору їх окупності, яка не перевищує термін 3,5 опалюваних сезонів.

Завдяки модернізації існуючих теплових пунктів і впровадженню автоматизованих систем моніторингу та регулювання буде забезпечено оптимальне споживання теплової енергії в залежності від температури зовнішнього середовища. На відміну від інших аналогічних досліджень, доцільність впровадження автоматизованих систем визначається удосконаленим дисконтованим методом, що надає можливість не тільки врахувати зміну вартості грошей у майбутньому, а і необхідний мінімальний відсоток економії теплової енергії для беззбитковості проєктів.

**Ключові слова:** автоматизація теплових вузлів, розподіл навантаження, електротехнічний комплекс, енергопотреба, оцінка ефективності, дисконтований метод.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.241972

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОГО РОЗПОДІЛУ ПРОНИКНОСТІ НА ПРОЦЕСИ ВИТІСНЕННЯ НАФТОВОЇ ФАЗИ** сторінки 33–40

**Лубков М. В., Захарчук О. О., Дмиренко В. І., Петраш О. В.**

Об'єктом дослідження є фільтраційні процеси витіснення нафтової фази під дією нагнітальної свердловини в неоднорідному пористому середовищі. Оцінити та врахувати вплив неоднорідності пласта на розподіл пластового тиску (а отже, на інтенсивність фільтраційного процесу) можна за допомогою чисельного моделювання фільтраційних процесів на основі рівняння п'єзопровідності. Для розв'язку нестационарної анізотропної задачі п'єзопровідності пропонується застосувати комбінований скінчено-елементно-різницевий метод Лубкова М. В., що дозволяє враховувати неоднорідний розподіл проникності всередині анізотропного нафтоносного пласта та на його межах, та адекватно розраховувати розподіл пластового тиску. Застосування комбінованого скінчено-елементно-різницевого методу дозволяє поєднувати переваги скінчено-елементного методу та методу скінчених різниць: моделювати геометрично складні області, знаходити значення в будь-якій точці досліджуваного об'єкта. При цьому застосування неявної різницевої схеми при знаходженні вузлових значень сітки забезпечує високу надійність та сходиність результатів.

Результати моделювання показують, що розподіл поля тиску між видобувною та нагнітальною свердловинами суттєво залежить від їх розташування, як у зсувно-ізотропному, так і у анізотропному нафтоносному пласті. Показано, що відстань між свердловинами більше 1 км нівелює ефективність впливу нагнітальної свердловини на фільтраційний процес нафти. Вплив проникності нафтової фази у зсувному напрямку домінує над впливом проникності у осьових напрямках (впливає на зниження тиску на 4–9,5 %).

У випадку зсувно-ізотропного пласта свердловини слід розташовувати у зсувному (діагональному) напрямку, що забезпечить найменший рівень падіння середнього пластового тиску (на 4 %).

Виходячи з отриманої інформації, для ефективного використання анізотропних слабопроникних пластів необхідно розміщувати видобувні та нагнітальні свердловини в областях з відносно низькою анізотропією проникності пласта, особливо уникати місць із наявністю зсувної проникності пласта. Важливе таке розташування свердловин, щоб з однієї сторони не відбувалось блокування нафти з боку пониженої проникності, а з іншої сторони не відбувалось швидке виснаження пласта з боку підвищеної проникності. А також не припинявся взаємний обмін між видобувною та нагнітальною свердловинами. При розміщенні системи видобувних та нагнітальних свердловин у анізотропних пластах нафтового родовища необхідно проведення системного аналізу навколишньої анізотропії пластів з метою такого їх розміщення, яка б забезпечувала ефективну динаміку процесів фільтрації навколо цих свердловин. За допомогою використаного методу можна спрогнозувати вплив нагнітальної свердловини на розподіл пластового тиску в пласті.

**Ключові слова:** нафтоносні пласти, анізотропні фільтраційні процеси, рівняння п'єзопровідності, скінчено-елементно-різницевий метод, розподіл пластового тиску.

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240260

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУВАННЯ ТВЕРДИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН** сторінки 41–45

Новак А. І., Фесенко Е. В., Павлов Є. Є.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси розробки родовищ і видобування твердих корисних копалин підземним та відкритим способами. Вдосконалення технологічних процесів досягається шляхом застосування наявних оригінальних технічних рішень, які доцільно в даний час використовувати на практиці. Робота направлена на підвищення ефективності використання енергії вибуху, вдосконалення технологічних процесів видобувних робіт на вугільних шахтах та кар'єрах гірничих підприємств.

В ході дослідження використовувався аналіз технічної літератури з гірничо-добувної тематики, здійснювався пошук авторських свідоцтв на винаходи та патенти з цієї ж тематики. Відбувався пошук інноваційних рішень, які доцільно застосувати у теперішній час. В процесі проведеного аналізу в роботі показано ідеї, способи видобутку вугілля, системи розробки вугільних пластів, способи руйнування гірських порід, мікробіологічної рекультивациі та інших нових технологій та пристроїв. Найбільш перспективні технології запропоновані до поглибленого вивчення, впровадження та використання у відповідних гірничо-геологічних умовах. Запропоновані технології з різноманітних причин поки що не знайшли широкого практичного застосування на гірничих підприємствах. Завдяки застосуванню запропонованих технічних рішень та технологій на практиці в умовах діючих вугільних шахт та кар'єрів може бути отримано значний економічний, екологічний та фінансовий ефекти.

Дане дослідження виконано для того, щоб довести до широкого кола фахівців підготовлені технічні рішення, які можуть сприяти суттєвому вдосконаленню технології видобування твердих корисних копалин, як на підземних, так і на відкритих гірничих роботах в усьому світі.

**Ключові слова:** системи підземної розробки вугільних пластів, інтерференція вибухових хвиль, відкрита розробка родовищ.

## ALTERNATIVE AND RENEWABLE ENERGY SOURCES

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.240250

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ ФІЛЬТРУВАННЯ ГАЗОВОГО ПОТОКУ КРИЗЬ СТАЦІОНАРНИЙ ШАР ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ БАВОВНИКА (ГУЗА ПЛЯ)** сторінки 46–51

Zagira Kobeyeva, Alisher Khussanov, Volodymyr Atamanyuk, Zoriana Knativ, Botagoz Kaldybayeva, Dauren Janabayev

Об'єктом даного дослідження є гідродинаміка стаціонарного шару подрібнених стебел бавовника. Одним з найбільш проблемних місць є вплив фізико-механічних характеристик стаціонарного шару подрібнених стебел бавовника на гідродинаміку фільтраційного сушіння.

В ході дослідження використовували методи фізичного та математичного моделювання. Для визначення гранулометричного складу полідисперсної суміші подрібнених стебел бавовника використовували ситовий аналіз.

Визначено гранулометричний склад подрібнених стебел бавовника та представлено графічну залежність відсоткового вмісту кожної фракції. Експериментально досліджено гідродинаміку фільтрування газового потоку крізь стаціонарний шар подрібнених стебел бавовника та представлено графічну залежність втрат тиску від фіктивної швидкості фільтрування газового потоку. Встановлено, що втрати тиску в стаціонарному шарі подрібнених стебел бавовника мають параболічний характер, що свідчить про вплив на втрати тиску як інерційної, так і в'язкісної складових. На основі експериментальних даних визначено невідомі коефіцієнти модифікованого рівняння Ергана. Представлено кореляційну залежність між експериментальними та теоретично розрахованими значеннями та показано, що максимальна відносна похибка становить 9,6 %, що є цілком прийнятно для практичних розрахунків. Результати експериментальних досліджень також представлені у вигляді графічної залежності числа Ейлера від числа Рейнольдса. На основі узагальнення експериментальних даних отримані розрахункові залежності у вигляді безрозмірних комплексів, які описують гідродинаміку фільтрування газового потоку крізь стаціонарний шар подрібнених стебел бавовника. Це дає змогу прогнозувати енергетичні затрати на створення перепаду тисків, з достатньою для практичних розрахунків точністю. Графічно представлено відношення експериментальних значень втрат тиску до теоретично розрахованих залежно від числа Рейнольдса. Показано, що максимальна відносна похибка не перевищує 8 %. Запропоновані узагальнення експериментальних даних дозволять визначати затрати енергії для створення перепаду тисків на етапі проектування сушильного обладнання, а також розрахувати оптимальні параметри процесу та прогнозувати його економічну доцільність.

**Ключові слова:** стебла бавовника, гранулометричний склад, порізність, втрати тиску, стаціонарний шар, волокнисті частинки.