

**MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY**

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.260278

IMPROVEMENT OF THE STRUCTURE OF A BALL MILL WITH THE PURPOSE OF INCREASING THE EFFICIENCY OF MATERIAL CRUSHING

pages 6–11

Iryna Kazak, PhD, Associate Professor, Department of Chemical, Polymer and Silicate Mechanical Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, e-mail: AsistentIA@meta.ua, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9450-8312>

Dmytro Sidorov, PhD, Associate Professor, Department of Chemical, Polymer and Silicate Mechanical Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0341-8205>

The object of research is the design of a ball mill for grinding dry materials, the subject of research is the efficiency of grinding material based on improving the design of a ball mill.

One of the important problems for ball mills is the problem of reducing the efficiency of grinding material. The degree of grinding of materials in ball mills ensures the quality of the product. That is why this work is aimed at choosing a way to improve the design of the ball mill in order to increase the efficiency of grinding material. This will provide a better process of grinding the material in the ball mill.

The study used the analysis of the features of the ball mill designs, literature and patent review of existing ways to improve the designs of the ball mill to improve the efficiency of grinding material. As a result of the literature-patent review the method of improving the ball mill based on the prototype, which has a rotating drum with longitudinal partitions and grinding bodies, longitudinal partitions are located diametrically at right angles with windows alternating on both sides from the intersection.

It is shown that the proposed method of improving the design of the ball mill will increase the efficiency of grinding dry materials. This is due to the fact that when moving the grinding bodies and the material on the partitions there is a collision of flows, and this will increase the productivity of the ball mill. Also at the same time there will be a decrease in the moment of resistance to rotation of a drum of a ball mill that will provide economy of the electric power for its work.

In comparison with the known designs of the ball mill, the execution of diametrical partitions at right angles with prisms in the drum of the mill all the grinding bodies, and the material is moved along the partition, then half of the drum. This will increase the efficiency of grinding the material in the improved design of the ball mill.

Keywords: mill design, grinding efficiency, fine grinding, dry materials, metal balls, diametrical partitions.

References

1. Kovalenko, I. V., Malinovskii, V. V. (2006). *Navchalni doslidzhenia protcesiv, mashin ta aparativ khimichnikh virobnytctv*. Kyiv: Norita-plus, 160.
2. *Kulovyi mlyn z tsentralnym rozvantazhenniam*. Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Кульовий_млин_з_центральним_розвантажнням
3. Smyrnov, V. O., Biletskyi, V. S. (2012). *Pidhotovchi protsesy zbahachennia korysnykh kopalyn*. Donetsk: Skhidnyi vydavnychyi dim, Donetske viddilennia NTSh, 284.
4. Churiumov, V. A. (1994). *Pat. No. 2014121 C1 RU. Trubnaia melnitca*. MPK: B02C 17/02. Published: 15.06.1994.
5. *Bolee plotnaia zahruzka meliushchyykh tel v melnytse, kak metod dostyzhenyia bolee efektyvnoho pomola* (2018). Available at: <https://energosteel.com/bolee-plotnaya-zagruzka-melyuschih-tel-v-melnytse-kak-metod-dostizheniya-bolee-effektivnogo-pomola/>
6. Naumenko, Yu. V., Protsiuk, Yu. B. (2016). Enerhooschadnist protsesu ostannoii stadii tonkoho podribnennia v barabannomu mlyni. *Naukovyi visnyk budivnytstva, 1-83*, 214–219. Available at: https://vestnik-construction.com.ua/images/pdf/1_83_2016/stroitel_1_83_2016_214_219.pdf
7. *Ten Ways to Improve the Grinding Efficiency of Your Ball Mill* (2019). Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/ten-ways-improve-grinding-efficiency-your-ball-mill-xinhai-1d>
8. Romanovich, A. A., Amini, E., Romanovich, M. A. (2020). Improving the efficiency of the material grinding process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 945 (1)*, 012060. doi: <http://doi.org/10.1088/1757-899x/945/1/012060>
9. Bogdanov, L. K. (2015). *Pat. No. 2540537 C2 RU. Sposob i ustroistvo dlia izmelcheniia*. MPK: B02C 15/00, B02C 4/00, B02C 17/00. Published: 10.02.2015.
10. Kulaienko, O. O., Permiakov, V. I., Riabushko, A. V. (2011). *Pat. No. 95929 UA. Sposib bezpererвноho kontroliu protsesu podribnennia u kulovomu mlyni*. No. a200807258. MPK B02C 25/00. Declared: 26.05.2008; published: 26.09.2011, Bul. No. 18.

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261858

MODIFICATION OF SCALED EQUATION OF STATE TO DETERMINE THE PRESSURE IN THE CO₂ CRITICAL REGION

pages 12–19

Hanna Vorobiova, Postgraduate Student, Department of Aircraft Engine Design, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: vorobyovaanna1610@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4181-8269>

The object of the research is carbon dioxide and its pressure distribution depending on the range of temperature and density in the region of the critical point. One of the

most problematic areas of methods for finding thermodynamic parameters of a real gas is insufficient accuracy in calculations in the places of occurrence and rapid development of fluctuation phenomena, which are inherent in phase transitions of the first and second terms. For a more detailed and accurate description of the nature of the thermodynamic parameters in the region of the critical point, scaling and crossover equations of state were developed. Such equations, due to the presence of regular and scaling parts, allow describing the thermodynamic parameters of a real gas not only directly near the critical point, but also at some distance from it, maintaining a small error relative to experimental data. The article proposes an equation of state, which contains a scaling part described according to the rules of statistical physics, and a regular part in the form

of a classical cubic equation of state. The equation is used to calculate the pressure of carbon dioxide in the region around the critical point from 300 K to 305 K. The article proposes a correlation equation for the scaling correction of the regular part (Redlich-Kwong-Aungier model) of the crossover equation of state, which is related to the scaling part the equation of state is a crossover function. The obtained results for the pressure in the critical region showed good agreement with the baseline data. The error relative to the experimental data is halved compared to the original model of the Redlich-Kwong-Aungier equation. The obtained results ensure the applicability of the proposed method in the temperature range from 300 K to 305 K. Due to the simplicity of the form of the regular equation of state and the small number of empirical coefficients for the large-scale equation of state, the obtained method can be used for practical problems of computational hydrodynamics without spending a lot of computing time.

Keywords: carbon dioxide, critical point, scale equation of state, real gas equation of state, cubic equation of state, phase transition, fluctuation phenomena, thermodynamic parameters, Redlich-Kwong-Aungier model.

References

- Schofield, P. (1969). Parametric representation of the equation of state near a critical point. *Physical Review Letters*, 22 (12), 606–608. doi: <http://doi.org/10.1103/physrevlett.22.606>
- Chapela, G. A., Rowlinson, J. S. (1974). Accurate representation of thermodynamic properties near the critical point. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases*, 70, 584–593. doi: <http://doi.org/10.1039/f19747000584>
- Hasan, O., Sandler, S. I. (1998). *Modeling vapor-liquid equilibria: cubic equations of state and their mixing rules*. Cambridge University Press, 19–25.
- Lee, S., Joonhyeon, J., Wonsoo, K., Tong-Seek, C. (2008). A new model approach for the near-critical point region: 1. Construction of the generalized van der Waals equation of state. *The Journal of Physical Chemistry B*, 112 (49), 15725–15741. doi: <http://doi.org/10.1021/jp8002855>
- Span, R., Wolfgang, W. (1996). A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-point temperature to 1100 K at pressures up to 800 MPa. *Journal of physical and chemical reference data*, 25 (6), 1509–1596. doi: <http://doi.org/10.1063/1.555991>
- Bezverkhy, P. P., Martynets, V. G., Matizen, E. V. (2009). Equation of state for He4, including a regular and a scalar part. *Low Temperature Physics*, 35 (10), 471–747. doi: <http://doi.org/10.1063/1.3253391>
- Bezverkhy, P. P., Martynets, V. G., Matizen, E. V. (2007). A scaling equation of state near the critical point and the stability boundary of a liquid. *Journal of Engineering Thermophysics*, 16 (3), 164–168. doi: <http://doi.org/10.1134/s1810232807030083>
- Vinhal, A. P. C. M., Yan, W., Kontogeorgis, G. M. (2019). Modeling the critical and phase equilibrium properties of pure fluids and mixtures with the crossover cubic-plus-association equation of state. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 65 (3), 1095–1107. doi: <http://doi.org/10.1021/acs.jced.9b00492>
- Kolawole, A., Hutton-Prager, B. (2020). Modeling the solubility of Alkyl Ketene Dimer in supercritical carbon dioxide: Peng-Robinson, group contribution methods, and effect of critical density on solubility predictions. *Fluid Phase Equilibria*, 507, 112415. doi: <http://doi.org/10.1016/j.fluid.2019.112415>
- Aungier, R. H. (1995). A fast, accurate real gas equation of state for fluid dynamic analysis applications. *Journal of Fluids Engineering*, 117 (2), 277–281. doi: <http://doi.org/10.1115/1.2817141>
- Vorobieva, H. (2021). Modification of the Redlich-Kwong-Aungier Equation of State to Determine the Degree of Dryness in the CO₂ Two-phase Region. *Journal of Mechanical Engineering*, 24 (4), 17–27. doi: <http://doi.org/10.15407/pmach2021.04.017>
- Span, R., Wolfgang, W. (1996). A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple point temperature to 1100 K at pressures up to 800 MPa. *Journal of physical and chemical reference data*, 25 (6), 1509–1596. doi: <http://doi.org/10.1063/1.555991>
- Anisimov, M. A., Rabinovich, V. A., Sychev, V. V. (1990). *Termodinamika kriticheskogo sostoianniia individualnykh veshchestv*. Moscow: Energoatomizdat, 192.
- Patashinskii, A. Z., Pokrovskii, V. L. (1982). *Fluktuatsionnaia teoriia fazovykh perekhodov*. Moscow: Nauka, 381.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261718

DEVELOPMENT OF A FLEXIBLE ANTENNA-WRISTBAND FOR WEARABLE WRIST-WORN INFOCOMMUNICATION DEVICES OF THE LTE STANDARD

pages 20–26

Andriy Semenov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9580-6602>

Olena Semenova, PhD, Associate Professor, Department of Infocommunication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5312-9148>

Bogdan Pinaiev, Postgraduate Student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9592-0640>

Roman Kulias, Postgraduate Student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3902-9893>

Oleksandr Shpylovyi, Postgraduate Student, Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7094-6542>

The object of research is the process of radiation of electromagnetic waves from a flexible antenna-wristband. The subject of research is the wave parameters and directional properties of a flexible antenna-wristband. The existing problem is that it is necessary to ensure the electromagnetic compatibility of the radio frequency units of the wrist-worn infocommunication device. This problem is due to the fact that LTE/NB-IoT, Bluetooth/Wi-Fi, and GPS antennas must be placed inside the small-sized case of the infocommunication device. To solve this problem, let's propose a simple

and cheap version of a broadband flexible bracelet antenna for LTE networks, located outside the device case.

As a basis for the development of a flexible antenna-wristband, the authors chose a patch antenna, which is the base of the theory of microstrip antennas. This is due to the fact that the theoretical material is well developed for the calculation and study of the patch antenna. Structurally, a patch antenna consists of an upper metal layer that emits electromagnetic waves, a solid dielectric base, and a lower metal layer that acts as a reflector. With the classical approach to constructing a patch antenna, the width and length of its upper layer are commensurate, and its lower metal layer has geometric dimensions much larger than the upper metal layer. In contrast to the classical design, the authors proposed a new shape of the patch antenna, in which the length of the upper layer of the radiation surface is much greater than its width (5–6 times), and the lower metal layer has dimensions slightly larger than the dimensions of the upper layer.

The authors have developed a flexible antenna-wristband for the frequency range of 800–1300 MHz with a wave impedance of 50 ohms, 118.7×23 mm of the upper metal layer, and 124.7×25 mm of the lower metal layer. The length of the microstrip feed line of the antenna is 54.6 mm, its width is 2 mm, and the length of the insert is 51.6 mm. The flexible antenna-wristband is connected to the printed circuit board of the infocommunication device by soldering or using a mini-coaxial cable. The authors developed an experimental layout of a flexible antenna-wristband and studied its wave and directional properties. It has been established that in the frequency range 800–1300 MHz the voltage standing wave ratio coefficient of this antenna does not exceed 3.5. The flexible antenna-wristband has directional properties, which allows reducing the level of electromagnetic radiation in the direction of the human body.

Keywords: flexible antenna, LTE, patch antenna, infocommunication device, VSWR (voltage standing wave ratio), radiation pattern.

References

- Soliman, M. M., Chowdhury, M. E. H., Khandakar, A., Islam, M. T., Qiblawey, Y., Musharavati, F., Zal Nezhad, E. (2021). Review on Medical Implantable Antenna Technology and Imminent Research Challenges. *Sensors*, 21 (9), 3163. doi: <http://doi.org/10.3390/s21093163>
- Kirtania, S. G., Elger, A. W., Hasan, Md. R., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T., Sekhar, P. K. (2020). Flexible Antenna-wristband: A Review. *Micromachines*, 11 (9), 847. doi: <http://doi.org/10.3390/mi11090847>

- Ali Khan, M. U., Raad, R., Tubbal, E., Theoharis, P. I., Liu, S., Foroughi, J. (2021). Bending Analysis of Polymer-Based Flexible Antennas for Wearable, General IoT Applications: A Review. *Polymers*, 13 (3), 357. doi: <http://doi.org/10.3390/polym13030357>
- Mohamadzade, B., Hashmi, R. M., Simorangkir, R. B. V. B., Gharaei, R., Ur Rehman, S., Abbasi, Q. H. (2019). Recent Advances in Fabrication Methods for Flexible Antennas in Wearable Devices: State of the Art. *Sensors*, 19 (10), 2312. doi: <http://doi.org/10.3390/s19102312>
- Zhang, J., Song, R., Zhao, X., Fang, R., Zhang, B., Qian, W. et al. (2020). Flexible Graphene-Assembled Film-Based Antenna for Wireless Wearable Sensor with Miniaturized Size and High Sensitivity. *ACS Omega*, 5 (22), 12937–12943. doi: <http://doi.org/10.1021/acsomega.0c00263>
- Mitra, D., Roy, S., Striker, R., Burczek, E., Aqueeb, A., Wolf, H. et al. (2021). Conductive Electrified and Nonconductive NinjaFlex Filaments based Flexible Microstrip Antenna for Changing Conformal Surface Applications. *Electronics*, 10 (7), 821. doi: <http://doi.org/10.3390/electronics10070821>
- Zhao, K., Ying, Z., He, S. (2015). Antenna designs of smart watch for cellular communications by using metal belt. *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. Lisbon, 1–5.
- Flores-Cuadras, J. R., Medina-Monroy, J. L., Chavez-Perez, R. A., Lobato-Morales, H. (2017). Novel ultra-wideband flexible antenna for wearable wrist worn devices with 4G LTE communications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 59 (4), 777–783. doi: <http://doi.org/10.1002/mop.30393>
- Mahe, Y., Chousseaud, A., Brunet, M., Froppier, B. (2012). New Flexible Medical Compact Antenna: Design and Analysis. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2012, 1–6. doi: <http://doi.org/10.1155/2012/837230>
- Ahmed, S., Tahir, F. A., Shamim, A., Cheema, H. M. (2015). A Compact Kapton-Based Inkjet-Printed Multiband Antenna for Flexible Wireless Devices. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 14, 1802–1805. doi: <http://doi.org/10.1109/lawp.2015.2424681>
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory. Analysis and Design*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 1072.
- Meulesteen, S., Semenov, A. O., Semenova, O., Koval, K., Datsiuk, D., Fomenko, H. (2022). Cellular Lifesaving Flexible Device. *IFMBE Proceedings*. Springer International Publishing, 382–389. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-92328-0_50

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.259738

INCREASING THE THERMAL RESISTANCE OF SHELL GAS-SUPPORT STRUCTURES FOR USE AS GAS HYDRATES STORAGE

pages 27–33

Larysa Pedchenko, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3279-8649>

Mykhailo Pedchenko, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine,

e-mail: pedchenkomm@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1409-8523>

Currently, in the world and Ukraine there are difficulties with the provision of natural gas. However, one of the problems is its storage. So, the object of research is the process of storing natural gas in land storages in gas hydrate form. An alternative to traditional technologies can be the transportation and long-term storage of natural gas in the form of gas hydrates. However, the existing reinforced concrete and metal structures, in addition to a significant price, also cannot sufficiently provide effective thermal insulation of the gas hydrate and its tightness.

The paper substantiates the possibility of using gas support structures and pneumatic building structures as gas

hydrate storage facilities. The possibility of improving the proposed structures by using non-hardening foams as a thermal insulation material has been proposed and confirmed by calculations. The study was aimed at calculating and analyzing the effectiveness of such a method of thermal insulation of a ground gas storage facility for storing natural gas in gas hydrate form.

A method acceptable for the current level of technology development is proposed for increasing the thermal resistance of gas support structures for their use as gas storages in the gas hydrate state. It consists in using stable liquid foams as an effective thermal insulation material to fill the space between the layers of a two-layer coating. In the course of the study, the high efficiency of the proposed method of thermal insulation of ground hydrate reservoirs with stable liquid foams was shown.

Calculation of thermodynamic characteristics of gas support storages for gas hydrates at their thermal insulation by liquid foam is made. The efficiency of the technological process of storing gas hydrate in the form of blocks is analyzed depending on the time of year. The main parameters of operation of such facilities are substantiated. It has been established that storage of hydrate blocks in storage without their dissociation during insulation with a layer of foam requires short-term additional cooling during the summer period of storage. Thus, this technology has prospects for widespread adoption.

Keywords: ground shell gas support structures, gas hydrates, stable foam, thermal resistance, gas storages.

References

- Pedchenko, M. M., Pedchenko, L. O., Pedchenko, N. M.; Onyshchenko, V., Mammadova, G., Sivitska, S., Gasimov, A. (Eds.) (2020). Increase of Thermal Resistance of the Gas-Filled Shell and Pneumatic Building for Use as Natural Gas Storages in Gas-Hydrated Form. *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering*. Cham: Springer, 73, 701–708. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_69
- Rodgers, R. E., Zbong, Y., Arunkumar, R., Etheridge, J. A., Pearson, L. E., Cown, J. Mc., Hogan, K. (2005). Gas Hydrate Storage Process for Natural Gas. *GasTIPS*, 12, 34–39.
- Takeya, S., Ebinuma, T., Uchida, T. (2002). Self-preservation effect and dissociation rates of CH₄ hydrate. *Journal of Crystal Growth*, 237–239, 379–382.
- Pedchenko, L. O., Pedchenko, M. M. (2012). Obhruntuvannya sposobu utvorennia lodohazohidratnykh blokv iz metoiu transportuvannya ta zberihannya hidratoutvoriuiuchoho hazu. *Naukovyi visnyk DHU*, 1, 28–34.
- Ermolov, V. V., Berd, U. U., Bubner, E. (1983). *Pnevmaticheskiye stroitelnyye konstruktsii*. Moscow: Stroyizdat, 439.
- Fedorov, A. B., Tiutiunnikov, A. I. (2004). Teplozashchitnye kharakteristiki ogradhaidushchikh konstruktsii karkasno-tentovykh i naduvnykh sooruzhenii. *Mir stroitelstva i nedvizhimosti*, 4, 30–31.
- DSTU-NB V.1.1-27:2010. *Budivelna klimatolohiia. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiynykh vplyviv, vid pozhezhi. Natsionalnyi standart Ukrainy*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 123.
- Ponomarchuk, I. A., Voloshyn, O. B. (2004). *Ventylatsiia ta kondytsiuvannia povitria*. Vinnytsia: VNTU, 121.
- Kondratev, K. Ia. (1980). *Radiatsionnye faktory sovremennykh izmerenii globalnogo klimata*. Leningrad, 39.
- US Patent No. 5944093 (1993). *Mobil Oil Comp.*
- Takashi, A., Yuchi, K. (2006). *JP No. 2006111813*. Inventor Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.
- Jamil, R., Shehzad, M. A., Mehmood, N., Atif Shehzad, M. (2005). *Study and adaptability of pneumatic structures*. Rawalpindi Pakistan: Military College of Engineering, Raisalpur National University of Sciences and Technology, 171.
- Eugene, A. (2006). Air-Inflated Fabric Structures: A Chapter For Marks' Standard handbook For Mechanical Engineers. *Reprint of a chapter in Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw-Hill, 36.
- Aleinikov, A. E., Fedorov, A. B., Tiutiunnikov, A. I. (2004). Metodiki rascheta teplopoter i teplopostuplenii cherez ogradhaidushchie konstruktsii karkasno-tentovykh i naduvnykh sooruzhenii. *StroiPROFIL*, 8 (38), 58–61.
- Subramanian, N. (2019). *Building materials. Nesting and Sustainability*. Oxford University Press, 386.
- McLean, W., Silver, P. (2015). *Air Structures: Form + Technique*. Laurence King Publishing, 185.
- Budiyanto, H., Setiawan, M. I., Winansih, E., Setiawan, A. B., Suntoro, H. (2018). Air inflated stage roof structure with independent energy for smes exhibition. *3rd International Conference of Graduate School on Sustainability*, 235–243.
- Pashchenko, T. M., Svitla, Z. I. (2005). *Budivelne materialoznavstvo*. Kyiv, 330.
- Duggal, S. K. (2019). *Building Materials*. New Age Publishers, 625.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.259263

DEVELOPMENT OF METHODS OF OPERATIVE DETERMINATION OF PARAMETERS OF REPEATED HYDRATE FORMATION IN LAYER SYSTEMS OF GAS HYDRATE DEPOSITS

pages 34–38

Nazar Pedchenko, Postgraduate Student, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0018-4482>, e-mail: jashafenix@ukr.net

The object of research is the methods of laboratory setting of the parameters of hydrate formation of well production and the design features of the equipment for its implementation. Methane hydrate is becoming a promising topic for a new energy resource. At the same time, hydrostatic formation is one of the most problematic areas in ensuring the transport of well products, and this primarily concerns the production of gas hydrate deposits. An analysis of the thermobaric parameters of the well production of gas hydrate deposits shows that when they are moved by technological lines, they are close to hydrate equilibrium, but due to the intensity of the process, the system does not have time to reach it. In addition, reservoir system water has a memory of hydrate structures, or a certain amount of gas hydrate solid phase is also present in the flow water. In this regard, a set of laboratory studies was carried out to assess the nature of the behavior of this type of systems during the re-crystallization of gas hydrate and its dissociation. Based on the results of the research, a method for the operational laboratory setting of the parameters of repeated hydrate formation in reservoir systems of gas hydrate deposits was developed. It provides for setting the parameters of mass crystallization of gas hydrate by visual fixation of the moment of appearance of the solid phase at the interfacial contact «liquid – gas». The design features of the laboratory facility for its implementation have also been

developed and substantiated. The technique makes it possible to reduce the duration of the study of one sample by almost an order of magnitude (from several days to 8–10 hours). In addition to the information on the equilibrium parameters of hydrostatic formation, provided by traditional methods of laboratory research, an additional characteristic of the behavior of reservoir systems in non-equilibrium conditions has been obtained, which will help to quickly assess the risks of technogenic hydrate formation. The developed technique is important for systems that, at least, have a memory of hydrate structures. However, the preliminary transfer of a part of the water of the test sample through the gas hydrate form allows estimating the parameters of hydrate formation of any reservoir system.

Keywords: gas hydrates, gas hydrate dissociation, recrystallization, online control technique, optical system.

References

- Kvenvolden, K. A. (1993). Gas hydrates-geological perspective and global change. *Reviews of Geophysics*, 31 (2), 173–187. doi: <http://doi.org/10.1029/93rg00268>
- Sloan, E. D., Jr., Koh, C., Sum, A. K. (2009). *Natural Gas Hydrates in Flow Assurance*. Colorado School of Mines, Summer workshop. Available at: http://hydrates.mines.edu/CHR/Workshop_files/Natural%20Gas%20Hydrates%20Workshop%202009.pdf
- Makogon, Y. F. (2010). Natural gas hydrates – A promising source of energy. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2 (1), 49–59. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jngse.2009.12.004>
- Boswell, R., Collett, T. S. (2011). Current perspectives on gas hydrate resources. *Energy Environ. Sci.*, 4 (4), 1206–1215. doi: <http://doi.org/10.1039/c0ee00203h>
- Chong, Z. R., Yang, S. H. B., Babu, P., Linga, P., Li, X.-S. (2016). Review of natural gas hydrates as an energy resource: Prospects and challenges. *Applied Energy*, 162, 1633–1652. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.061>
- Kinnari, K., Hundseid, J., Li, X., Askvik, K. M. (2014). Hydrate Management in Practice. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 60 (2), 437–446. doi: <http://doi.org/10.1021/je500783u>
- Van der Waals, J. H., Platteuw, J. C. (1958). Clathrate solutions. *Advances in Chemical Physics*, 2, 1–57. doi: <http://doi.org/10.1002/9780470143483.ch1>
- Klapproth, A., Goreschnik, E., Staykova, D., Klein, H., Kuhs, W. F. (2003). Structural studies of gas hydrates. *Canadian Journal of Physics*, 81 (1-2), 503–518. doi: <http://doi.org/10.1139/p03-024>
- Najibi, H., Kamali, Z., Mohammadi, A. H. (2013). Phase equilibria of carbon dioxide clathrate hydrates in the presence of methanol/ethylene glycol+single salt aqueous solutions: experimental measurement and prediction. *Fluid Phase Equilibria*, 342, 71–74. doi: <http://doi.org/10.1016/j.fluid.2013.01.001>
- Ohmura, R., Ogawa, M., Yasuoka, K., Mori, Y. H. (2003). Statistical Study of Clathrate-Hydrate Nucleation in a Water/Hydrochlorofluorocarbon System: Search for the Nature of the «Memory Effect». *The Journal of Physical Chemistry B*, 107 (22), 5289–5293. doi: <http://doi.org/10.1021/jp027094e>
- Sefidroodi, H., Abrahamsen, E., Kelland, M. A. (2013). Investigation into the strength and source of the memory effect for cyclopentane hydrate. *Chemical Engineering Science*, 87, 133–140. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ces.2012.10.018>
- Oyama, H., Konno, Y., Masuda, Y., Narita, H. (2009). Dependence of Depressurization-Induced Dissociation of Methane Hydrate Bearing Laboratory Cores on Heat Transfer. *Energy & Fuels*, 23 (10), 4995–5002. doi: <http://doi.org/10.1021/ef900179y>
- Sira, J., Patil, S., Kamath, S. (1990). Study of hydrate dissociation by methanol and glycol injection. SPE annual technical conference and exhibition. *Society of Petroleum Engineers*, 977–984. doi: <http://doi.org/10.2118/20770-ms>
- Song, Y., Cheng, C., Zhao, J., Zhu, Z., Liu, W., Yang, M., Xue, K. (2015). Evaluation of gas production from methane hydrates using depressurization, thermal stimulation and combined methods. *Applied Energy*, 145, 265–277. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.040>
- Shouwei, Z., Wei, C., (2014). Qingping. The green solid fluidization development principle of natural gas hydrate stored in shallow layers of deep water. *China Offshore Oil Gas*, 26 (5), 1–7.
- Wu, Q., Lu, J. S., Li, D. L., et al. (2018). Experimental study of mechanical properties of hydrate-bearing sediments during depressurization mining. *Rock and Soil Mechanics*, 39 (12), 4508–4516.
- Tohidi, B., Burgass, R. W., Danesh, A., Østergaard, K. K., Todd, A. C. (2006). Improving the Accuracy of Gas Hydrate Dissociation Point Measurements. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 912 (1), 924–931. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2000.tb06846.x>
- Kumar, R., Wu, H., Englezos, P. (2006). Incipient hydrate phase equilibrium for gas mixtures containing hydrogen, carbon dioxide and propane. *Fluid Phase Equilibria*, 244 (2), 167–171. doi: <http://doi.org/10.1016/j.fluid.2006.04.008>
- Pedchenko, M. M. (2014). *Hidratoutvorennia vuhlevodnevykh haziv*. Poltava: PoltNTU, 186.
- Bavoh, C. B., Partoon, B., Lal, B., Kok Keong, L. (2017). Methane hydrate-liquid-vapour-equilibrium phase condition measurements in the presence of natural amino acids. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 37, 425–434. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.11.061>
- Kondo, W., Ohtsuka, K., Ohmura, R., Takeya, S., Mori, Y. H. (2014). Clathrate-hydrate formation from a hydrocarbon gas mixture: Compositional evolution of formed hydrate during an isobaric semi-batch hydrate-forming operation. *Applied Energy*, 113, 864–871. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.033>
- Pedchenko, N., Zezekalo, I., Pedchenko, L., Pedchenko, M. (2021). Research into phase transformations in reservoir systems models in the presence of thermodynamic hydrate formation inhibitors of high concentration. *E3S Web of Conferences*, 230, 01014. doi: <http://doi.org/10.1051/e3sconf/202123001014>

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261716

THE INFLUENCE OF THE GAS HYDRATES MORPHOLOGY ON THE RATE OF DISSOCIATION AND THE MANIFESTATION OF SELF-PRESERVATION IN NON-EQUILIBRIUM CONDITIONS

pages 39–43

Victoriia Dmytrenko, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, e-mail: dmytr.v@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1678-2575>

Oleksandr Lukin, Academician of the Ukraine National Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Department of Drilling and Geology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4844-1617>

Vasyl Savoyk, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering and Technology, National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0706-0589>

The object for the research was samples of artificially formed gas hydrate of different morphology. Gas hydrates are clathrate compounds of water molecules and hydrate-forming gases. They create significant problems for the oil and gas industry. At the same time, they contain enormous natural gas resources. The study of gas hydrates requires the production of quality samples in laboratory conditions and the availability of appropriate laboratory equipment. However, it is customary to use averaged physical indicators when performing calculations and in works on modeling gas-hydrate processes. At the same time, their morphological differences are not taken into account. Therefore, there is a risk of obtaining distorted research results. Based on this, the paper presents an analysis of the morphological differences of artificially formed gas-hydrate structures depending on the method of their formation. An assessment of the influence of the method of gas hydrate formation and the morphology of artificially formed gas hydrate samples on its stability is also given. In addition, recommendations are provided for choosing a method of forming samples of gas-hydrate structures that simulate natural samples.

Gas hydrate samples for research were obtained at a laboratory facility by changing the method of mixing the contents of the reactor. The basis of the research methodology was the analysis of enlarged images of gas hydrate samples. The morphology of the gas hydrate samples was studied through the transparent viewing windows of the reactor. For obtain high-quality images, an optical system with a light source inside the reactor was used. The stability of the gas hydrate samples was investigated with gradual pressure release in the reactor. The difficulty of obtaining adequate samples of artificial gas hydrates for modeling the properties of natural analogues is shown. It is shown that morphological differences in the macro- or microstructure of artificially formed gas hydrate samples can affect the results of research. It was concluded that the results of experimental studies with samples of artificially obtained gas hydrate cannot be considered adequate for real conditions without appropriate corrections.

Keywords: hydrate formation parameters, gas hydrate structures morphology, laboratory unit, hydrate-bearing rock, gas hydrate structures stability.

References

1. Makogon, Yu. F. (1997). *Hydrates of Hydrocarbons*. Tulsa: Penwell Books, 482.
2. Makogon, Iu. F. (1985). *Gazovye gidraty, preduprezhdenie ikh obrazovaniia i ispolzovanie*. Moscow: Nedra, 232.
3. Sloan, E. D. (1997). *Clathrate Hydrates of Natural Gases. Second Edition, Revised and Expanded*. New York, Basel, Hong Kong: Marcel Dekker, Inc., 705.
4. Davidson, D. W.; Franks, F. (Ed.) (1973). *Water. A Comprehensive Treatise. Water in Crystalline Hydrates. Aqueous Solution of Simple Nonelectrolytes. Vol. 2*. New York: Plenum Press, 115–234. doi: http://doi.org/10.1007/978-1-4757-6958-6_3
5. Handa, Y. P. (1988). A calorimetric study of naturally occurring gas hydrates. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 27 (5), 872–874. doi: <http://doi.org/10.1021/ie00077a026>
6. Makogon, Iu. F. (2003). Prirodnye gazovye gidraty: rasprostranenie, modeli obrazovaniia, resursy. *RZhKh, XLVII (3)*, 70–79.
7. Vasilev, A., Dimitrov, L. (2002). Otcenka prostranstvennogo raspredeleniia i zasov gazogidratov v Chernom more. *Geologiya i geofizika*, 7 (43), 672–684.
8. Nerheim, A. R., Svartaas, T. M., Samuelsen, E. K. (1992). Investigation of hydrate kinetics in the nucleation and early growth phase by laser light scattering. *2nd International Offshore and Pollar Engineering Conference. San Francisco*, 1, 620–627.
9. Monfort, J. P., Nzihou, A. (1993). Light scattering kinetics study of cyclopropane hydrate growth. *Journal of Crystal Growth*, 128, 1182–1186. doi: [http://doi.org/10.1016/s0022-0248\(07\)80120-5](http://doi.org/10.1016/s0022-0248(07)80120-5)
10. Herri, J. M., Gruy, F., Cournil, M. (1996). Kinetics of methane hydrate formation, *2nd International Conference on Natural Gas Hydrates Proceedings. Toulouse*, 243–250.
11. Ershov, E., Yakushev, V. (1992). Experimental research on gas hydrate decomposition in frozen rocks. *Cold Regions Science and Technology*, 20, 147–156. doi: [http://doi.org/10.1016/0165-232x\(92\)90014-1](http://doi.org/10.1016/0165-232x(92)90014-1)

**MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY**

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.260278

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ КУЛЬОВОГО МЛИНА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛУ сторінки 6–11

Казак І. О., Сідоров Д. Е.

Об'єктом дослідження у роботі є конструкція кульового млина для подрібнення сухих матеріалів, предметом дослідження є спосіб удосконалення конструкції кульового млина з метою підвищення ефективності подрібнення сухого матеріалу.

Однією з важливих проблем для кульових млинів є проблема зниження ефективності подрібнення матеріалу. Ступінь подрібнення матеріалів у кульових млинах забезпечує якість одержуваного продукту. Саме тому дана робота направлена на вибір способу удосконалення конструкції кульового млина з метою підвищення ефективності подрібнення матеріалу. Це дозволить забезпечити більш якісний процес подрібнення матеріалу у кульовому млині.

В ході дослідження використовувалися аналіз особливостей конструкцій кульового млина, літературно-патентний огляд існуючих способів удосконалення конструкцій кульового млина для підвищення ефективності подрібнення матеріалу. В результаті літературно-патентного огляду обрано та запропоновано спосіб удосконалення кульового млина на основі прототипу, який має обертовий барабан з поздовжніми перегородками та мелючими тілами. При цьому поздовжні перегородки розташовані діаметрально під прямим кутом з вікнами, що чергуються з обох боків від центру перетину перегородок.

Показано, що запропонований спосіб удосконалення конструкції кульового млина підвищить ефективність подрібнення сухих матеріалів. Це пов'язано з тим, що при переміщенні тіл, які мелють, і матеріалу по перегородках відбувається зіткнення потоків, а це збільшить продуктивність кульового млина. Також при цьому відбудеться зменшення моменту опору обертанню барабану кульового млина, що забезпечить економію електроенергії на його роботу.

У порівнянні з відомими конструкціями кульового млина виконання діаметральних перегородок під прямим кутом з призмами у барабані млина, всі тіла, що мелють, та матеріал переміщуються то по перегородці, то по половині барабана. Це дозволить забезпечити підвищення ефективності подрібнення матеріалу в удосконаленій конструкції кульового млина.

Ключові слова: конструкція млина, підвищення ефективності подрібнення, тонкий помел, сухі матеріали, металеві кулі, діаметральні перегородки.

MATERIALS SCIENCE

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261858

МОДИФІКАЦІЯ МАСШТАБОВАНОГО РІВНЯННЯ СТАНУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ В КРИТИЧНІЙ ОБЛАСТІ CO₂ сторінки 12–19

Воробйова Г. С.

Об'єктом дослідження є діоксид вуглецю та розподіл його тиску залежно від діапазону температури та густини в області критичної точки. Одним з найбільш проблемних місць методів знаходження термодинамічних параметрів реального газу є недостатня точність при розрахунках у місцях виникнення та стрімкого розвитку флуктуаційних явищ, які притаманні фазовим переходам першого та другого роду. Для більш детального та точного опису характеру термодинамічних параметрів у області критичної точки, були розроблені масштабні та кросоверні рівняння стану. Такі рівняння, завдяки наявності регулярної та скейлінгової частин, дозволяють описувати термодинамічні параметри реального газу не лише безпосередньо поблизу критичної точки, але й на деякому віддаленні від неї, зберігаючи незначну похибку відносно експериментальних даних. У роботі пропонується рівняння стану, яке містить скейлінгову частину, описану по правилам статистичної фізики, та регулярну частину у вигляді класичного кубічного рівняння стану. Рівняння використовується для розрахунку тиску діоксид вуглецю в області навколо критичної точки від 300 К до 305 К. Запропоновано кореляційне рівняння для масштабної поправки регулярної частини (модель Редліха-Квонга-Анг'є) кросоверного рівняння стану, яка пов'язана зі скейлінговою частиною рівняння стану кросоверною функцією. Отримані результати для тиску в критичній області показали гарний збіг з базовими значеннями. Похибка відносно експериментальних даних знизилась вдвічі в порівнянні з оригінальною моделлю рівняння Редліха-Квонга-Анг'є. Отримані результати забезпечують застосовність запропонованого методу у діапазоні температур від 300 К до 305 К. Завдяки простоті форми регулярного рівняння стану та невеликій кількості емпіричних коефіцієнтів для масштабного рівняння стану, отриманий метод може бути використаний для практичних задач обчислювальної гідродинаміки без затрат великого обчислювального часу.

Ключові слова: діоксид вуглецю, рівняння стану реального газу, фазовий перехід, флуктуаційні явища, термодинамічні параметри, модель Редліха-Квонга-Анг'є.

ELECTRICAL ENGINEERING AND INDUSTRIAL ELECTRONICS

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261718

РОЗРОБКА ГНУЧКОЇ АНТЕНИ-БРАСЛЕТА ДЛЯ НОСИМИХ НА РУЦІ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ СТАНДАРТУ LTE сторінки 20–26

Семенов А. О., Семенова О. О., Пінаєв Б. О., Куляс Р. О., Шпильовий О. О.

Об'єктом дослідження є процес випромінювання електромагнітних хвиль гнучкої антени-браслету. Предметом досліджень є хвильові параметри та спрямовані властивості гнучкої антени-браслету. Існуюча проблема полягає в тому, що необхідно забезпечити електромагнітну сумісність радіочастотних блоків, що носяться на руці інфокомунікаційного пристрою. Ця проблема зумовлена

тим, що всередині малого за розміром корпусу інфокомунікаційного пристрою, що носить на руці, потрібно розмістити антени LTE/NB-IoT, Bluetooth/Wi-Fi та GPS. Для вирішення цієї проблеми у роботі запропонований простий та дешевий варіант ширококугової гнучкої антени-браслета для мереж стандарту LTE, яка розташована поза корпусом пристрою.

За основу розроблення гнучкої антени-браслету автори обрали патч-антену, яка є базовою в теорії мікросмушкових антен. Це зумовлено тим, що для розрахунку та дослідження патч-антени добре розроблений теоретичний матеріал. Конструктивно патч-антена складається з верхнього металевого шару, що випромінює електромагнітні хвилі, твердої діелектричної основи та нижнього металевих шару, що виконує роль рефлектора. За класичного підходу побудови патч-антени ширина та довжина її верхнього шару є співрозмірними, а її нижній металевий шар має геометричні розміри значно більші за верхній металевий шар. На відміну від класичного дизайну автори запропонували нову форму патч-антени, у якій довжина верхнього шару поверхні випромінювання значно більша за її ширину (у 5–6 разів), а нижній металевий шар має розміри, що незначно більші за розміри верхнього шару.

Автори розробили гнучку антену-браслет для діапазону частот 800–1300 МГц із хвильовим опором 50 Ом, що має розміри 118,7×23 мм верхнього металевого шару та 124,7×25 мм нижнього металевого шару. Довжина мікросмушкової лінії живлення антени 54,6 мм, її ширина 2 мм та довжина врізання 51,6 мм. Гнучка антена-браслет підключається до друкованої плати інфокомунікаційного пристрою за допомогою пайки або з використанням міні-коаксіального кабелю. Автори розробили експериментальний макет гнучкої антени-браслету і дослідили її хвильові та спрямовані властивості. Встановлено, що в діапазоні частот 800–1300 МГц коефіцієнт стоячої хвилі цієї антени не перевищує величини 3,5. Гнучка антена-браслет володіє спрямованими властивостями, що дозволяє зменшити рівень електромагнітного випромінювання у напрямку тіла людини.

Ключові слова: гнучка антена, LTE, патч-антена, інфокомунікаційний пристрій, КСХ (коефіцієнт стоячої хвилі), діаграма спрямованості.

TECHNOLOGY AND SYSTEM OF POWER SUPPLY

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.259738

ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ОБОЛОНКОВИХ ГАЗООПОРНИХ СПОРУД ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ЯКОСТІ СХОВИЩ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ сторінки 27–33

Педченко Л. О., Педченко М. М.

На даний час у світі та в Україні існують складнощі із забезпеченням природним газом. При цьому однією із проблем є його зберігання. Отже, об'єктом дослідження є процес зберігання природного газу у наземних сховищах у газогідратній формі. Альтернативою традиційним технологіям може стати транспортування та тривале зберігання природного газу у формі газових гідратів. Однак, існуючі на сьогодні залізобетонні та металеві споруди, окрім значної ціни, також не можуть у достатній мірі забезпечити ефективну термоізоляцію газогідрату та його герметичність.

У роботі обгрунтовано можливість використання газопорних оболонкових споруд і пневматичних будівельних конструкцій в якості сховищ газових гідратів. Запропоновано та підтверджено розрахунками можливість удосконалення пропонованих споруд шляхом застосування, в якості термоізоляційного матеріалу, піни, що не тверднуть. Проведене дослідження було направлене на розрахунок і аналіз ефективності такого способу теплоізоляції наземного оболонкового газопорного сховища для зберігання природного газу в газогідратній формі.

Запропоновано прийнятний для сучасного рівня розвитку технологій спосіб підвищення термічного опору газопорних споруд для їх використання в якості сховищ газу в газогідратному стані. Він полягає у використанні в якості ефективного термоізоляційного матеріалу для заповнення простору між шарами двохшарового покриття стабільних рідких піни. В ході дослідження показана висока ефективність запропонованого способу термоізоляції наземних гідратосховищ рідкими стабільними пінами.

Виконано розрахунок термодинамічних характеристик газопорних сховищ для газових гідратів при їх термоізоляції рідкою піною. Проаналізовано ефективність технологічного процесу зберігання газогідрату у вигляді блоків залежно від пори року. Обгрунтовано основні параметри експлуатації таких споруд. Встановлено, що зберігання у сховищі гідратних блоків без їх дисоціації при ізоляції шаром піни потребує у літній період зберігання лише короткочасного додаткового охолодження. Таким чином, дана технологія має перспективи широкого впровадження.

Ключові слова: наземні оболонкові газопорні споруди, газові гідрати, стабільна піна, термічний опір, сховища газу.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.259263

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВТОРНОГО ГІДРАТОУТВОРЕННЯ В ПЛАСТОВИХ СИСТЕМАХ ГАЗОГІДРАТНИХ РОДОВИЩ сторінки 34–38

Педченко Н. М.

Об'єктом дослідження є способи лабораторного встановлення параметрів гідратоутворення свердловинної продукції та конструктивні особливості обладнання для його реалізації. Гідрат метану стає перспективною темою як новий енергетичний ресурс. У той же час гідратоутворення є одним з найбільш проблемних місць у забезпеченні транспорту свердловинної продукції, і перш за все, це стосується продукції газогідратних родовищ. Аналіз термобаричних параметрів свердловинної продукції газогідратних родовищ показує, що при переміщенні технологічними лініями вони близькі до гідратної рівноваги, але через інтенсивність процесу система не встигає її досягти. Крім того, вода пластової системи володіє пам'яттю гідратних структур, або в потоковій також присутня певна кількість твердої фази газогідрату. У зв'язку з цим, проведено комплекс лабораторних досліджень з оцінки характеру поведінки такого типу систем в ході повторної кристалізації газогідрату та його дисоціації. За результатами досліджень розроблено методику оперативного лабораторного встановлення параметрів повторного гідратоутворення в пластових системах газогідратних родовищ. Вона передбачає встановлення параметрів масової кристалізації газогідрату шляхом візуальної фіксації моменту появи твердої фази на міжфазному контакті «рідина – газ». Також розроблено та обгрунтовано конструктивні особливості лабораторної установки

для його здійснення. Методика дозволяє скоротити тривалість дослідження одного зразка практично на порядок (з кількох діб до 8–10 годин). На додачу до інформації про рівноважні параметри гідратоутворення, яку надають традиційні методи лабораторних досліджень, отримана додаткова характеристика поведінки пластових систем в нерівноважних умовах, що допоможе оперативно оцінити ризики техногенного гідратоутворення. Розроблена методика є важливою для систем, які, як мінімум, володіють пам'яттю гідратних структур. Однак, попереднє переведення частини води досліджуваного зразка через газогідратну форму дозволяє оцінити параметри гідратоутворення будь-якої пластової системи.

Ключові слова: газові гідрати, дисоціація газогідрату, повторна кристалізація, методика оперативного контролю, оптична система.

DOI: 10.15587/2706-5448.2022.261716

ВПЛИВ МОРФОЛОГІЇ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ НА ШВИДКІСТЬ ДИСОЦІАЦІЇ ТА ПРОЯВ САМОКОНСЕРВАЦІЇ В НЕРІВНОВАЖНИХ УМОВАХ сторінки 39–43

Дмитренко В. І., Лукіч О. Ю., Савих В. М.

Об'єктом дослідження були зразки штучно утвореного газового гідрату різної морфології. Газові гідрати являють собою клатратні сполуки молекул води і гідратоутворюючих газів. Вони створюють значні проблеми для нафтогазовидобувної галузі. У той же час, у їх складі накопичені колосальні ресурси природного газу. Дослідження газових гідратів потребує продукування в лабораторних умовах якісних зразків та наявності відповідного лабораторного обладнання. Однак, при проведенні розрахунків і в роботах по моделюванню газогідратних процесів прийнято використовувати усереднені фізичні показники. При цьому не враховуються їх морфологічні відмінності. Тому, існує ризик отримання викривлених результатів досліджень. Виходячи з цього, в роботі представлено аналіз морфологічних відмінностей штучно утворених газогідратних структур залежно від способу їх утворення. Також дана оцінка впливу способу утворення газогідрату і морфології зразків штучно утвореного газогідрату на його стабільність. Крім того, надано рекомендації по вибору способу утворення зразків газогідратних структур, що моделюють природі зразки.

Зразки газогідрату для проведення досліджень отримано на лабораторній установці шляхом зміни способу перемішування вмісту реактора. Основою методики досліджень був аналіз збільшених зображень зразків газогідрату. Морфологія зразків газогідрату вивчалась через прозорі оглядові вікна реактора. Для отримання якісних зображень використовували оптичну систему з джерелом світла всередині реактора. Стабільність зразків газогідрату досліджували при поступовому скиданні тиску в реакторі. Показана складність отримання адекватних зразків штучних газогідратів для моделювання властивостей природних аналогів. Показано, що морфологічні відмінності макро- чи мікроструктури зразків штучно утвореного газогідрату можуть вплинути на результати досліджень. Зроблено висновок, що результати експериментальних досліджень зі зразками газогідрату, отриманого штучно, не можна вважати адекватними для реальних умов без відповідних поправок.

Ключові слова: параметри гідратоутворення, морфологія газогідратних структур, лабораторна установка, гідратовмісна порода, стабільність газогідратних структур.