



International periodic scientific journal

—*ONLINE*

www.moderntechno.de

Indexed in
INDEXCOPERNICUS
(ICV: 84.35)



MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Issue №12

Part 1

June 2020

Published by:
Sergeieva&Co
Karlsruhe, Germany

ISSN 2567-5273
DOI 10.30890/2567-5273

Editor: Shibaev Alexander Grigoryevich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician*
Scientific Secretary: Kuprienko Sergey, *candidate of technical sciences*

Editorial board: More than 160 doctors of science. Full list on pages 4

UDC 08
LBC 94
DOI: 10.30890/2567-5273.2020-12-01

Published by:
Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe, Germany
e-mail: editor@moderntechno.de
site: www.moderntechno.de

The publisher is not responsible for the validity of the information or for any outcomes resulting from reliance thereon.

Copyright
© Authors, 2020



About the journal

The International Scientific Periodical Journal "Modern Technology and Innovative Technologies" has been published since 2017 and has gained considerable recognition among domestic and foreign researchers and scholars.

Periodicity of publication: Quarterly

The journal activity is driven by the following objectives:

- Broadcasting young researchers and scholars outcomes to wide scientific audience
- Fostering knowledge exchange in scientific community
- Promotion of the unification in scientific approach
- Creation of basis for innovation and new scientific approaches as well as discoveries in unknown domains

The journal purposefully acquaints the reader with the original research of authors in various fields of science, the best examples of scientific journalism.

Publications of the journal are intended for a wide readership - all those who love science. The materials published in the journal reflect current problems and affect the interests of the entire public.

Each article in the journal includes general information in English. The journal is registered in INDEXCOPERNICUS.

Sections of the Journal:

Library of Congress Classification Outline	Sections
Subclass TJ / TJ1-1570	Mechanical engineering and machinery
Subclass TK / TK1-9971	Electrical engineering.
Subclass TA / TA165	Engineering instruments, meters, etc. Industrial instrumentation
Subclass TK / TK5101-6720	Telecommunication
Subclass TK / TK1-9971	Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering
Subclass TN / TN1-997	Mining engineering. Metallurgy
Subclass TS / TS1950-1982, TS2120-2159	Animal products., Cereals and grain. Milling industry
Subclass TS / TS1300-1865	Textile industries
Subclass TK / TK7800-8360	Electronics
Subclass T / T55.4-60.8	Industrial engineering. Management engineering
Subclass T / T351-385	Mechanical drawing. Engineering graphics
Subclass TA / TA1001-1280, Subclass TL / TL1-484, Subclass TE / TE1-450, Subclass TF / TF1-1620	Transportation engineering, Motor vehicles. Cycles, Highway engineering. Roads and pavements, Railroad engineering and operation
Subclass TH / TH1-9745	Building construction
Subclass T / T55-55.3	Industrial safety. Industrial accident prevention
Additional sections	Innovative economics and management, Innovations in pedagogy, Innovative approaches in jurisprudence, Innovative philosophical views

Requirements for articles

Articles should correspond to the thematic profile of the journal, meet international standards of scientific publications and be formalized in accordance with established rules. They should also be a presentation of the results of the original author's scientific research, be inscribed in the context of domestic and foreign research on this topic, reflect the author's ability to freely navigate in the existing bibliographic context on the problems involved and adequately apply the generally accepted methodology of setting and solving scientific problems.

All texts should be written in literary language, edited and conform to the scientific style of speech. Incorrect selection and unreliability of the facts, quotations, statistical and sociological data, names of own, geographical names and other information cited by the authors can cause the rejection of the submitted material (including at the registration stage).

All tables and figures in the article should be numbered, have headings and links in the text. If the data is borrowed from another source, a bibliographic reference should be given to it in the form of a note.

The title of the article, the full names of authors, educational institutions (except the main text language) should be presented in English.

Articles should be accompanied by an annotation and key words in the language of the main text and must be in English. The abstract should be made in the form of a short text that reveals the purpose and objectives of the work, its structure and main findings. The abstract is an independent analytical text and should give an adequate idea of the research conducted without the need to refer to the article. Abstract in English (Abstract) should be written in a competent academic language.

The presence of UDC, BBK

Acceptance of the material for consideration is not a guarantee of its publication. Registered articles are reviewed by the editorial staff and, when formally and in substance, the requirements of the journal are sent to peer review, including through an open discussion using the web resource www.sworld.education

Only previously unpublished materials can be posted in the journal.

Regulations on the ethics of publication of scientific data and its violations

The editors of the journal are aware of the fact that in the academic community there are quite widespread cases of violation of the ethics of the publication of scientific research. As the most notable and egregious, one can single out plagiarism, the posting of previously published materials, the misappropriation of the results of foreign scientific research, and falsification of data. We oppose such practices.

The editors are convinced that violations of copyrights and moral norms are not only ethically unacceptable, but also serve as a barrier to the development of scientific knowledge. Therefore, we believe that the fight against these phenomena should become the goal and the result of joint efforts of our authors, editors, reviewers, readers and the entire academic community. We encourage all stakeholders to cooperate and participate in the exchange of information in order to combat the violation of the ethics of publication of scientific research.

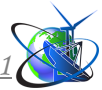
For its part, the editors are ready to make every effort to identify and suppress such unacceptable practices. We promise to take appropriate measures, as well as pay close attention to any information provided to us, which will indicate unethical behavior of one or another author.

Detection of ethical violations entails refusal to publish. If it is revealed that the article contains outright slander, violates the law or copyright rules, the editorial board considers itself obliged to remove it from the web resource and from the citation bases. Such extreme measures can be applied only with maximum openness and publicity.



Editorial board

- Bukharina Irina Leonidovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Grebneva Nadezhda Nikolayevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Gritsenko Svetlana Anatol'yevna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Russia
 Kalenik Tat'yana Kuz'minichna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Knyazeva Ol'ga Aleksandrovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Russia
 Kukhar Yelena Vladimirovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Kazakhstan
 Moiseykina Lyudmila Guchayevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Nefed'yeva Yelena Eduardovna, Doctor of Biological Sciences, assistant professor, Russia
 Sentyabrev Nikolay Nikolayevich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Starodubtsev Vladimir Mikhaylovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Ukraine
 Testov Boris Viktorovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Tungushbayeva Zina Baybagusovna, Doctor of Biological Sciences, Kazakhstan
 Fateyeva Nadezhda Mikhaylovna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russia
 Akhmadiev Gabdulakhat Malikovich, Doctor of Veterinary Science, Professor, Russia
 Shevchenko Larisa Vasil'yevna, Doctor of Veterinary Science, Professor, Ukraine
 Animitsa Yevgeniy Georgiyevich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Russia
 Sukhova Mariya Gennad'yevna, Doctor of Geographical Sciences, assistant professor, Russia
 Irzhi Khakhula, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Czech Republic
 Fedorishin Dmitro Dmitrovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Ukraine
 Kokebayeva Gul'zhaukhar Kakenovna, Doctor of Historical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Otepova Gul'fira Yelubayevna, Doctor of Historical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Trigub Petr Nikitovich, Doctor of Historical Sciences, Professor, Ukraine
 Elezovich M. Dalibor, Doctor of Historical Sciences, assistant professor, Serbia
 Vizir Vadim Anatol'yevich, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ukraine
 Fedyanina Lyudmila Nikolayevna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russia
 Orlov Nikolay Mikhaylovich, Doctor of Science in Public Administration, assistant professor, Ukraine
 Velichko Stepan Petrovich, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Gavrilenko Nataliya Nikolayevna, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Gilev Gennadiy Andreyevich, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Dorofeyev Andrey Viktorovich, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Karpova Nataliya Konstantinovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Mishenina Tat'yana Mikhaylovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Nikolayeva Alla Dmitriyevna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Rastrygina Alla Nikolayevna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Sidorovich Marina Mikhaylovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Ukraine
 Smirnov Yevgeniy Ivanovich, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Fatykhova Aleytina Leon'tyevna, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Fedotova Galina Aleksandrovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Khodakova Nina Pavlovna, doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Russia
 Chigirinskaya Natal'ya Vyacheslavovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Churekova Tat'yana Mikhaylovna, doctor of pedagogical sciences, Professor, Russia
 Latygina Natal'ya Anatol'yevna, Doctor of Political Sciences, Professor, Ukraine
 Sirota Naum Mikhaylovich, Doctor of Political Sciences, Professor, Russia
 Khebrina Svetlana Vladimirovna, Doctor of Psychology, Professor, Russia
 Vozhegova Raisa Anatol'yevna, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Denisov Sergey Aleksandrovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Russia
 Zhoitnong Ol'ga Igorevna, doctor of agricultural sciences, Ukraine
 Kostenko Vasil'y Ivanovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Kotlyarov Vladimir Vladislavovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Russia
 Morozov Aleksey Vladimirovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Patyka Nikolay Vladimirovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Rebezov Maksim Borisovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Russia
 Tarariko Yuriy Aleksandrovich, doctor of agricultural sciences, Professor, Ukraine
 Mal'tseva Anna Vasil'yevna, Doctor of Sociology, assistant professor, Russia
 Stegny Vasil'y Nikolayevich, Doctor of Sociology, Professor, Russia
 Tarasenko Larisa Viktorovna, Doctor of Sociology, Professor, Russia
 Avershenkov Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Antonov Valeriy Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Bykov Yuriy Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Goncharuk Sergey Mironovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Zakharov Oleg Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Kalayda Vladimir Timofeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Kapitanov Vasil'y Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Kirillova Yelena Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Kovalenko Petr Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Kopey Bogdan Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Kosenko Nadezhda Fedorovna, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Russia
 Kruglov Valeriy Mikhaylovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Kuderin Marat Krykbaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Lebedev Anatoliy Timofeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Lomoto Denis Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Makarova Irina Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Morozova Tat'yana Yur'yevna, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Pavlenko Anatoliy Mikhaylovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Parunakyan Vaag Emil'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Pachurin German Vasil'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Pershin Vladimir Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Piganov Mikhail Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Polyakov Andrey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Popov Viktor Sergeyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Rokochinskiy Anatoliy Nikolayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Romashchenko Mikhail Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Semestov Georgiy Nikiforovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Sukhenko Yuriy Grigor'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Ustenko Sergey Anatol'yevich, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Khabibullin Rifat Gabdulkhakovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Russia
 Chervonny Ivan Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Shayko-Shaykovskiy Aleksandr Gennad'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Shibayev Aleksandr Grigor'yevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Scherban' Igor' Vasil'yevich, Doctor of Technical Sciences, assistant professor, Russia
 Bushuyeva Inna Vladimirovna, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Volokh Dmitriy Stepanovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Georgiyevskiy Gennadiy Viktorovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Senior Researcher, Ukraine
 Gudzenko Aleksandr Pavlovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Tikhonov Aleksandr Ivanovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Shapovalov Valeriy Vladimirovich, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Shapovalova Viktoriya Alekseyevna, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Ukraine
 Blatov Igor' Anatol'yevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Russia
 Kondratov Dmitriy Vyacheslavovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, assistant professor, Russia
 Lya'l'kina Galina Borisovna, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Russia
 Malakhov A.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Ukraine
 Vorozhitova Aleksandra Anatol'yevna, doctor of philology, Professor, Russia
 Lytkina Larisa Vladimirovna, doctor of philology, assistant professor, Russia
 Popova Taisiya Georgiyevna, doctor of philology, Professor, Russia
 Kovalenko Yelena Mikhaylovna, doctor of philosophical science, Professor, Russia
 Lipich Tamara Ivanovna, doctor of philosophical science, assistant professor, Russia
 Maydanyuk Irina Zinoviyevna, doctor of philosophical science, assistant professor, Ukraine
 Svetlov Viktor Aleksandrovich, doctor of philosophical science, Professor, Russia
 Stovpets A.V., doctor of philosophical science, assistant professor, Ukraine
 Antrap'tseva Nadezhda Mikhaylovna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Ukraine
 Bazheva Rima Chamalovna, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Russia
 Grizodub Aleksandr Ivanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Ukraine
 Yermagambet Bolat Toleukhanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Kazakhstan
 Maksin Viktor Ivanovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Ukraine
 Angelova Polya Georgiyevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Bulgaria
 Bezdenezhnykh Tat'yana Ivanovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Burda Aleksey Grigor'yevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Granovskaya Lyudmila Nikolayevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Ukraine
 Dorokhina Yelena Yur'yevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Klimova Natal'ya Vladimirovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Kochinev Yuriy Yur'yevich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Kurmayev Petr Yur'yevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, Ukraine
 Lapkina Anna Aleksandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Ukraine
 Mel'nik Alona Alekseyevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Ukraine
 Mil'yayeva Larisa Grigor'yevna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Pakhomova Yelena Anatol'yevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Reznikov Andrey Valentinovich, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Savel'yeva Nelli Aleksandrovna, Doctor of Economic Sciences, Professor, Russia
 Sokolova Nadezhda Gennad'yevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Strel'tsova Yelena Dmitriyevna, Doctor of Economic Sciences, assistant professor, Russia
 Batyrgayeva Vladislava Stanislavovna, doctor of law, Ukraine
 Get'man Anatoliy Pavlovich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Kafarskiy Vladimir Ivanovich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Kirichenko Aleksandr Anatol'yevich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Stepenko Valeriy Yefremovich, doctor of law, assistant professor, Russia
 Tonkov Yevgeniy Yevgen'yevich, doctor of law, Professor, Russia
 Shepit'ko Valeriy Yur'yevich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Shishka Roman Bogdanovich, doctor of law, Professor, Ukraine
 Yarovenko Vasil'y Vasil'yevich, doctor of law, Professor, Russia
 Kantarovich YU.L., Ph.D. in History of Arts, Ukraine
 Volgireva Galina Pavlovna, Candidate of Historical Sciences, assistant professor, Russia
 Tokareva Natal'ya Gennad'yevna, Candidate of Medical Sciences, assistant professor, Russia
 Demidova V.G., Candidate of Pedagogical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Mogilevskaya I.M., Candidate of Pedagogical Sciences, Professor, Ukraine
 Lebedeva Larisa Aleksandrovna, Candidate of Psychological Sciences, assistant professor, Russia
 Yatsenko Olesksandr Volodymyrovych, Candidate of Technical Sciences, Professor, Ukraine
 Shapovalov Valentin Valer'yevich, Candidate of Pharmaceutical Sciences, assistant professor, Ukraine
 Stovpets V.G., Candidate of Philology, assistant professor, Ukraine
 Ruslan Zubkov, Doctor of Economics, Associate Professor, Ukraine
 Tolbatov Andrey Vladimirovich, candidate of technical sciences, associate professor, Ukraine
 Sharagov Vasily Andreevich, Doctor of Chemistry, Associate Professor, Moldova



УДК 636.041, 631.173.

**THE CONCEPT OF OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS
OF AGRICULTURAL PRODUCTION****КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ВИРОБНИЦТВА
ПРОДУКЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА****Piskun V.I./Піскун В.І.***head of the laboratory/завідувач лабораторії**/д.с.г.н***Yatsenko Yu. V. / Яценко Ю.В.***getter / здобувач**Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,**Kharkiv, ul. Animals 1-A, 61026**Інститут тваринництва Національної академії аграрних наук,**Харків, ул. Тваринників 1-А, 61026***Yatsenko Yu. Yu./Яценко Ю.Ю.***master/магістр**Poltava state agrarian academy, Poltava, ul. Skovoro 1/3, 62003**Полтавська державна аграрна академія, Полтава, вул. Сковороди 1/3, 62003*

Анотація. Необхідність інтенсифікації всіх галузей сільського господарства, без якої неможливий перехід на ринкові умови господарювання, значно підняла значення оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства.

На основі багатокритеріального аналізу проведено розробку концепції оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства. Доцільним методом побудови множини критерії ефективності технологій виробництва є згортання часткових критеріїв для кожної операції. Основним способом згортання критеріїв з застосуванням методу визначення відносної відстані до мети.

Перевірка концепції оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства зокрема механізованого виробництва комбікормів із гнучкими зв'язками різної продуктивності для умов господарств з використанням методу багатокритеріального аналізу в умовах виробництва підтвердила прийняті рішення.

Ключові слова: концепція, оптимізація, технологія, виробництво, багатокритеріальний аналіз.

Вступ.

Необхідність інтенсифікації всіх галузей сільського господарства, без якої неможливий перехід на ринкові умови господарювання, значно підняла значення оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства і зокрема на основі багатокритеріального аналізу. Найпоширенішими методами розв'язання багатокритеріальних задач оптимізації є: оптимізація за Парето; зведення багатьох критеріїв до одного за допомогою нормування та використання вагових коефіцієнтів; оптимізація за якимось одним критерієм при обмеженнях на інші; лексикографічна оптимізація, тобто послідовна оптимізація, починаючи з найважливішого критерію. Отже, оптимізація складу технологій виробництва продукції сільського господарства є актуальною проблемою [1- 5].

Мета досліджень. Розробити концепцію оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства зокрема на основі багатокритеріального аналізу та провести її апробацію.



Основний текст. Найбільш узагальненою постановкою завдання оптимізації складу технологій виробництва продукції сільського господарства, є така: знайти мінімум функції кількох змінних:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (1)$$

коли на змінні $x_1, x_2, \dots, x_n$ накладаються обмеження-рівності:

$$\begin{cases} h_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; \\ i = \overline{1, n_h}; \end{cases} \quad (2)$$

обмеження-нерівності:

$$\begin{cases} g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0; \\ i = \overline{1, n_g}; \end{cases} \quad (3)$$

та обмежуються границі змінювання змінних:

$$\begin{cases} x_i^- \leq x_i \leq x_i^+; \\ i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (4)$$

При цьому кількість обмежень-рівностей (3) не має перевищувати кількості змінних: $n_h \leq n$. Обмежень-нерівностей n_g може бути скільки завгодно.

Із точки зору теорії операцій та стратегічного планування вибір варіанта виконання окремої операції є частковою стратегією, а перелік (комбінація) усіх часткових стратегій (по одній для кожної операції) – (повною) стратегією виконання технологічного процесу T . Дискретну скінченну множину всіх таких припустимих стратегій позначимо C , а її потужність (кількість елементів) – S . Ставиться завдання пошуку такої стратегії $C_k \in C$ ($k = 1, 2, \dots, S$) виконання технологічного процесу T , яка забезпечувала б екстремальне значення найбільшої кількості показників ефективності.

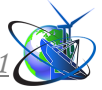
Отже, ми маємо багатокритеріальне завдання оптимізації, та ще й на дискретній множині C . Конкретного результату найпростіше досягти за методом оцінки інтегрального критерію відстані до цілі. Отже, найбільш загальна математична постановка завдання знаходження оптимального технологічного процесу виробництва комбікормів зводиться до пошуку:

$$\min_{C_k \in C; k=1, S} N(C_k), \quad (5)$$

де N – загальний критерій виконання технологічного процесу T , побудований таким чином, щоб найкращій технології відповідав його мінімум; C_k ($k = 1, 2, \dots, S$) – стратегії виконання технологічного процесу; C – дискретна скінченна множина стратегій, яка містить S елементів.

Ми будемо застосовувати саме цей підхід: згортання всіх критеріїв до одного N за допомогою нормування.

У той же час є кілька критеріїв оптимальності, причому частину з яких треба максимізувати, а частину – мінімізувати. Розглянемо особливості згортання цих вісьмох критеріїв нашої задачі до одного критерію N , що підлягає мінімізації. Загальну схему такого згортання та подальшого розв'язання задачі подано на рис. 1. На рис. 1 усі наші орієнтовані графи – це елементи множини стратегій C , а їхні показники ефективності – сітка після першої стрілки.



Мета – перейти від вектора до скаляра (друга стрілка на рис. 1). Тоді ми зможемо порівнювати різні технології (стратегії) та обрати найкращу (графік знизу на рис. 2). Показниками ефективності кожної стратегії є такі вісім критеріїв: продуктивність K_{Π} ; питома металоємність $K_{\Pi\text{М}}$; питома установлена потужність $K_{\Pi\text{П}}$; коефіцієнт готовності K_{Γ} ; питома складність $K_{\Pi\text{С}}$; якість змішування $K_{\text{ЯЗ}}$; час змішування $K_{\text{ЧЗ}}$; допустима вологість змішування $K_{\text{ДВ}}$. Продуктивність K_{Π} (у тонах/год.) задається варіантом використовуваного комплексу машин технології механізованого виробництва комбікормів. Вона може становити 1, 2, 3 або 4 тонни на годину.

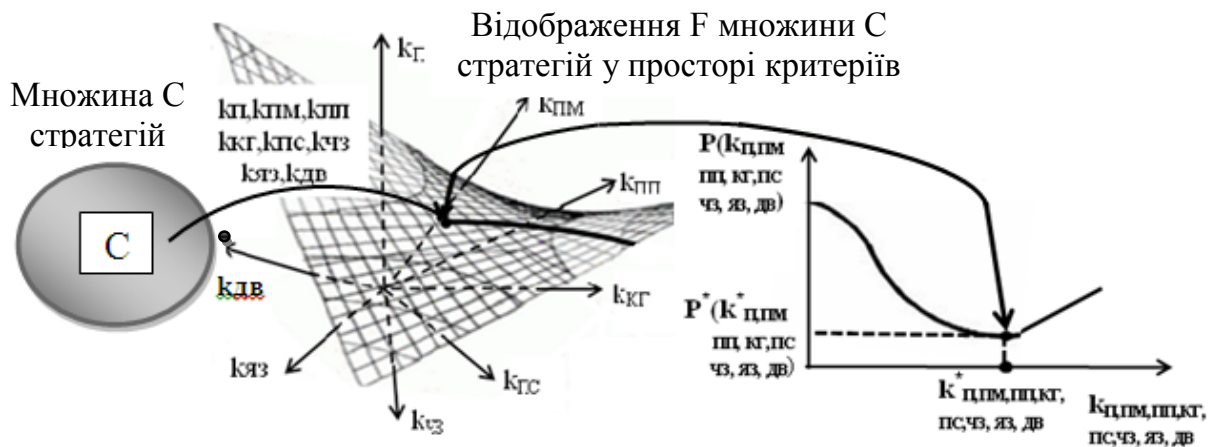


Рис. 1 – Схема стратегій прийняття рішень з урахуванням багатьох критеріїв

Авторська розробка

Відповідно до цієї залежності нормовані значення за всіма критеріями оцінки в ідеалізованому варіанті будуть рівні одиниці.

Для порівняльної оцінки за комплексним показником на основі методу багатокритеріального аналізу знаходимо відносну відстань $N(C_k)$ для кожного альтернативного рішення з виразу:

$$N(C_k) = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^H - \sum_{i=1}^n u_{i_0}^H}{\sum_{i=1}^n u_{i_0}^H}, \quad (6)$$

де n – кількість оцінюваних критеріїв.

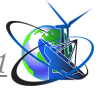
У нашому випадку всі параметри тепер нормовані, мають однаковий масштаб, тому отримуємо з них функцію мети шляхом обчислення:

$$N(C_k) = \frac{\sum_{i=1}^8 u_{ik}}{8} - 1. \quad (7)$$

Таким чином, було знайдене те значення аргумента,

$$C_{\min} = \arg \min_{C_k \in C; k=1, S} N(C_k), \quad (8)$$

що надає мінімум функції мети. Воно визначає найкращу технологію з числа наявних.



На основі аналізу літератури та досвіду виробництва були розроблені структурні схеми технологій механізованого виробництва комбікормів із гнучкими зв'язками різної продуктивності для умов господарств (рис. 2).

Структурна технологічна схема варіант № 1, патент на корисну модель № 38620, продуктивністю 2 т/год. із навантаженим резервуванням дозаторів та змішувачів, рис. 2 (I) та варіант № 2, патент на корисну модель № 43375 продуктивністю 2 т/год. з навантаженим резервуванням змішувачів, рис. 2 (II). Структурна технологічна схема варіант № 3, продуктивністю 3 т/год. із навантаженим резервуванням дозаторів та змішувачів рис. 2 (III), та варіант № 4, продуктивністю 4 т/год. із навантаженим резервуванням дозаторів та змішувачів, рис. 2 (IV). [6,7].

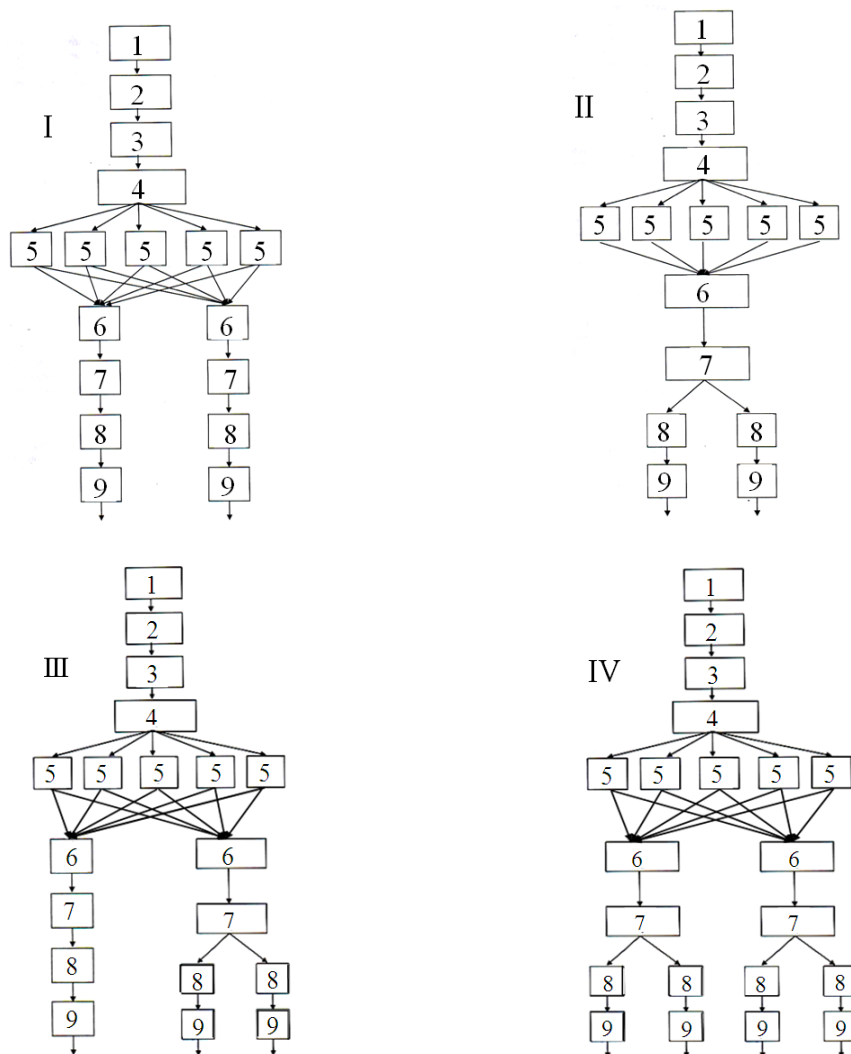


Рис. 2. Структурні схеми технологій механізованого виробництва комбікормів з гнучкими зв'язками різної продуктивності в умовах господарства

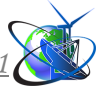
I – варіант № 1; II – варіант № 2; III – варіант № 3; IV – варіант № 4,

1 - транспортування інгредієнтів комбікормів; 2 – подрібнення;

3 - транспортування; 4 – розподіл; 5 – накопичення; 6 – дозування;

7 – транспортування; 8 – змішування; 9 – транспортування

Авторська розробка



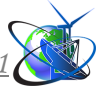
Структурними моделями передбачається: по першому варіанту подача інгредієнтів комбікормів із одних і тих же бункерів до двох вагових дозаторів і в подальшому до двох змішувачів; по другому варіанту – до одного вагового дозатора і до двох змішувачів; по третьому варіанту – до двох вагових дозаторів і в подальшому до трьох змішувачів; по четвертому варіанту – до двох вагових дозаторів і до чотирьох змішувачів.

На основні положень оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства для складу комплексу машин технологій механізованого виробництва комбікормів в умовах господарства були розроблені програмні засоби у математичному пакеті MATLAB та проведено імітаційне моделювання. В імітаційному моделюванні використовували технічні характеристики дробарок - «Харків'янка», АД, Д2, Д2, вагових дозатора з переміщенням інгредієнтів в один напрямок або двох напрямках, спіральних або лопатевих горизонтальних змішувачів та вертикальних шнекових або лопатевих. Було опрацьовано сто варіантів технологій.

Багатокритеріальний аналіз технологій виробництва комбікормів і БВМД із гнучкими зв'язками в умовах господарства дав змогу установити, що за комплексним показником ефективності кожного з альтернативних варіантів, у порівнянні з ідеалізованим, суттєву перевагу технології продуктивністю 4 т/год Х-ДД-ГЗ4 із використанням дробарки типу «Харків'янка», двох вагових дозаторів із переміщенням інгредієнтів у двох напрямках, чотирма горизонтальними змішувачами, для якої цільова функція за розглянутими критеріями є найменшою і становить 0,0347, при тому, що цільова функція технології продуктивністю 1 т/год гірша в 59,45 раз. Також було встановлено, що за комплексним показником ефективності кожного з альтернативних варіантів, у порівнянні з ідеалізованим, суттєву перевагу технології продуктивністю 2 т/год дробарки типу «Харків'янка», вагового дозатора з переміщенням інгредієнтів у двох напрямках, двома горизонтальними змішувачами, із навантаженим резервуванням змішувачів для якої цільова функція за розглянутими критеріями є найменшою і становить 0,0106, при тому, що цільова функція технології продуктивністю 2 т/год із навантаженим резервуванням дозаторів та змішувачів дробарки ДЗ, вагових дозаторів із переміщенням інгредієнтів в одному напрямку, вертикального змішувача шнекового, для якої $N(C_k) = 2,0629$ та гірша в 63,33 раз. З'ясовано, що розроблені структурні схеми технологій механізованого виробництва комбікормів із гнучкими зв'язками продуктивністю 2 т, 3 т та 4 т на годину дають змогу зменшити питому металоємність $K_{\text{пм}}$, у порівнянні з технологією продуктивністю 1 т/год відповідно у 1,84, 2,56 та 3,12 раз.

Отримані результати були перевірені в умовах господарства. Для цього були реалізовані дві технології виробництва комбікормів із гнучкими зв'язками в умовах господарства продуктивністю 2 т/год. Загальний вигляд наведено на рис.3.

На основі отриманих даних в умовах виробництва провели багатокритеріальний аналіз, за методом оцінки інтегрального критерію відстані до цілі, по технологіях продуктивністю 2 т із навантаженим резервуванням



дозаторів та змішувачів і продуктивністю 2 т із навантаженим резервуванням змішувачів. Результати проведеного порівняльного аналізу технологій виробництва комбікормів із гнучкими зв'язками в умовах господарства за комплексним показником ефективності кожного із альтернативних варіантів $N(C_k)$ у порівнянні з ідеалізованим, дають змогу відзначити суттєву перевагу технології продуктивністю 2,307 т із навантаженим резервуванням змішувачів, для якої цільова функція за розглянутими критеріями є меншою і становить 0,0056 при тому, що цільова функція технології продуктивністю 2 т із навантаженим резервуванням дозаторів та змішувачів гірша в 40,7 рази.

Тобто перевірка в умовах виробництва підтвердила прийняті рішення при розробці концепції оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства зокрема на основі багатокритеріального аналізу.

Заклучення та висновки

1. На основі багатокритеріального аналізу проведено розробку концепції оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства. Доцільним методом побудови множини критерії ефективності технології виробництва є згортання часткових критеріїв для кожної операції. Основним способом згортання критеріїв з застосуванням методу визначення відносної відстані до мети.

2. Перевірка концепції оптимізації технологій виробництва продукції сільського господарства зокрема механізованого виробництва комбікормів із гнучкими зв'язками різної продуктивності для умов господарств з використанням методу багатокритеріального аналізу. в умовах виробництва підтвердила прийняті рішення при розробці.

Література:

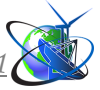
1. Jain N., Ottino J.M., Lueptow R.M. Effect of interstitial fluid on a granular flowing layers. *J. Fluid Mech.* Vol. 508. 2004. С. 23 – 44.
2. Керпунин М.Г., Кузьмин А.М., Шалденков С.В. Функционально-стоимостный анализ в инженерной деятельности. М.: Информэлитро, 1990.77 с.
3. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2000.
4. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.
5. Компьютер и поиск компромисса. Метод достижимых целей. А.В. Лотов, В.А. Бушенков, Г.К. Каменев, О.Л. Черных. М.: Наука, 1997.
6. Ресурсозберігаюча лінія по виробництву комбікормів та білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД): пат. на корисну модель 43375 U Україна: МПК А 23 N 17/00. № u200903268; заявл. 06.04.2009; опубл. 10.08.2009, Бюл. № 15.
7. Лінія по виробництву білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД) та комбікормів: пат. 77422 U Україна: А23N17/00. № u 2004010302; заявл. 15.01.04; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12



Рис.3. Загальний вигляд технології механізованого виробництва комбікормів

- 1 – шнек для завантаження інгредієнтів комбікормів до вагового дозатора; 2 – бункер інгредієнтів комбікормів;
3 – ваговий дозатор; 4 – шнек завантаження інгредієнтів комбікормів до змішувача № 1; 5 – пульт керування № 1;
6 – змішувач № 1; 7 – пульт керування № 2; 8 – шнек завантаження інгредієнтів комбікормів до змішувача № 2;
9 – вивантажувальний шнек змішувача № 2; 10 – змішувач № 2

Авторська розробка



Abstract. *The need to intensify all branches of agriculture, without which the transition to market conditions is impossible, has significantly raised the importance of optimizing the technology of agricultural production*

On the basis of multicriteria analysis the development of the concept of optimization of technologies of production of agricultural products is carried out. An expedient method of constructing a set of criteria for the efficiency of production technology is to collapse the partial criteria for each operation. The main way to reduce the criteria using the method of determining the relative distance to the target.

Verification of the concept of optimization of agricultural production technologies, in particular mechanized production of compound feeds with flexible connections of different productivity for farm conditions using the method of multicriteria analysis in production conditions confirmed the decisions.

Key words: *concept, optimization, technology, production, multicriteria analysis.*

Стаття відправлена: 01.06.2020 р.
Піскун В.І., Яценко Ю.В., Яценко Ю.Ю.



УДК 532.137

IMPROVEMENT OF VISCOSITY MEASUREMENT OF NEWTONIAN FLUIDS**УДОСКОНАЛЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ НЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН****Andreiev I. A. / Андреев І. А.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доцент*

ORCID: 0000-0003-2965-8722

Koval V. O. / Коваль В. О.*student / студент*

ORCID: 0000-0002-8150-1805

*National Technical University of Ukraine**"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Анотація. Запропоновано віскозиметр, у якому забезпечується суттєве спрощення конструкції і облегшення проведення замірів реологічних характеристик дослідних рідин. Вимірювальна трубка приладу виконана конічною, що унеможливорює розриви суцільності плин у ній дослідної рідини і тому відповідає необхідності в широкому коліні, як це виконується у стандартних віскозиметрах. Запропоновані розрахункові формули для визначення в'язкості за витратою і часом витікання дослідної рідини. Пропонований віскозиметр дозволяє здійснити безпосередній розрахунок кількісних фізичних характеристик рідин, при цьому істотно спрощується конструкція приладу і облегшується його обслуговування.

Ключові слова: віскозиметр, ньютонівська рідина, конічний канал.

Вступ

Області застосування віскозиметрів надзвичайно різноманітні. Вони використовуються у хімічній, нафтопереробній, харчовій, теплоенергетичній, будівельній, фармацевтичній промисловості, у медицині і металургії.

Для визначення реологічних характеристик рідких середовищ найчастіше використовуються два методи вимірювання в'язкості рідин: за швидкістю спливання (чи занурення) сферичного тіла у в'язкій рідині або за швидкістю витікання рідини з малого отвору або з капіляра.

Використання першого методу ґрунтується на застосуванні закону Стокса, справедливого тільки для повільного руху кульки малого діаметра при ламінарному обтіканні тіла рідиною.

Найбільш зручним, і тому більш поширеним, виявився другий метод вимірювання в'язкості, для забезпечення якого можуть застосовуватися декілька приладів.

Так, у проточному чашковому віскозиметрі [1], який складається з резервуару і набору сопел вимірюється умовна в'язкість, що виражається в секундах часу витікання. Різновидом проточного чашкового віскозиметра є занурюваний віскозиметр з ручкою, який дозволяє проводити експрес тестування для визначення в'язкості. Недоліком такого віскозиметра є те, що за його допомогою можна визначити в'язкість в умовних одиницях і для переходу до кількісних фізичних характеристик, які необхідні для вирішення прикладних



задач, застосовуються емпіричні формули або графіки, що мають наближений характер.

Капілярні віскозиметри засновані на примусовому чи вільному (за рахунок гравітаційних сил) витіканні досліджуваної системи через капіляри різної форми. Стандартний віскозиметр цього типу являє собою U-подібну скляну трубку, широке коліно якої розширюється донизу. Інша коліно містить упаяний всередині капіляр, що закінчується вгорі кулькою, яка переходить в більш широку трубку. Під кулькою і над ним нанесені дві мітки, що обмежують певний об'єм [2]. Для проведення досліджень на U-подібному віскозиметрі необхідно спочатку закачати у прилад рідину, а потім, при її витіканні виміряти час проходження рідини між верхньою і нижньою позначками. Кінематична в'язкість рідини при цьому буде дорівнювати добутку цього часу на постійну віскозиметра C . У кожному стандартному наборі є по дев'ять віскозиметрів, діаметри внутрішніх капілярів яких варіюються в межах 0,34-5,5 мм, що відповідає значенням $C = 0,003-30$ сСт/с. Проте цей віскозиметр характеризується відносно складною конструкцією і методикою проведення замірів в'язкості, а також має обмеження в застосуванні.

Постановка задачі

Задачею статті є представлення результатів пошукових і теоретичних досліджень, які були спрямовані на спрощення процесу вимірювання в'язкості ньютонівських рідин.

Конструкція віскозиметра

Авторами запропонований віскозиметр з конічною вертикальною вимірювальною трубкою, що має у верхній частині карман і звужується донизу (рис.1) [3].

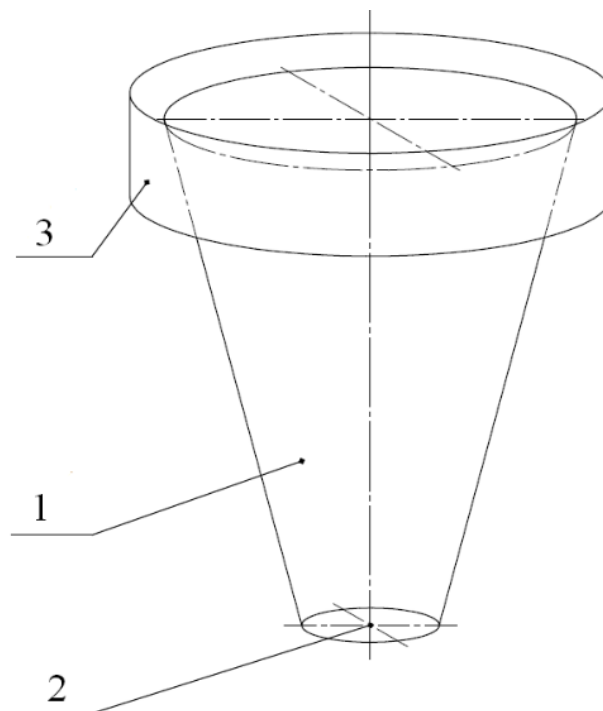
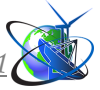


Рис.1 Віскозиметр

*1 – конічна вертикальна вимірювальна трубка, 2 – вихідний отвір,
3 – рідинний карман*



Виконання вертикальної вимірювальної трубки конічною унеможливорює розриви суцільності плин у ній дослідної рідини і тому відпадає необхідність в широкому коліні, що значно спрощує конструкцію віскозиметра. Спорядження верхньої частини вимірювальної трубки карманом забезпечує безвихрову подачу рідини та допомагає підтримати її на постійному рівні, а самі заміри в'язкості при цьому спрощуються.

Віскозиметр працює в такий спосіб. Вихідний отвір 2 закривається, після чого дослідною рідиною заповнюється конічна вертикальна вимірювальна трубка 1 до її верхнього краю, чому сприяє наявність кармана 3. Після відкриття вихідного отвору 2 заміряється час витікання рідини. Визначення в'язкості можна здійснювати також і при підтримці постійного рівня рідини в трубці 1. Для цього рідина безперервно подається в трубку 1 через карман 3.

Розрахунок в'язкості

Для розрахунку в'язкості скористуємось аналітичною формулою плин у ньютонівської рідини в конічному каналі [4]:

$$q = \frac{3\pi\Delta p}{8\mu L} \cdot \frac{R_1^3 R_2^3}{R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2}, \quad (1)$$

де Δp – перепад тиску в конічному каналі на довжині L , Па; μ – динамічна в'язкість рідини, Па·с; $L = L_2 - L_1$ – висота конічного каналу, м; R_1 і R_2 – внутрішні радіуси, відповідно, на виході з конусу і на вході у конус, м.

Вважається, що плин рідини в каналі здійснюється у радіальних напрямках до початку координат. Розрахункова схема у декартових і сферичних координатах подана на (рис.2).

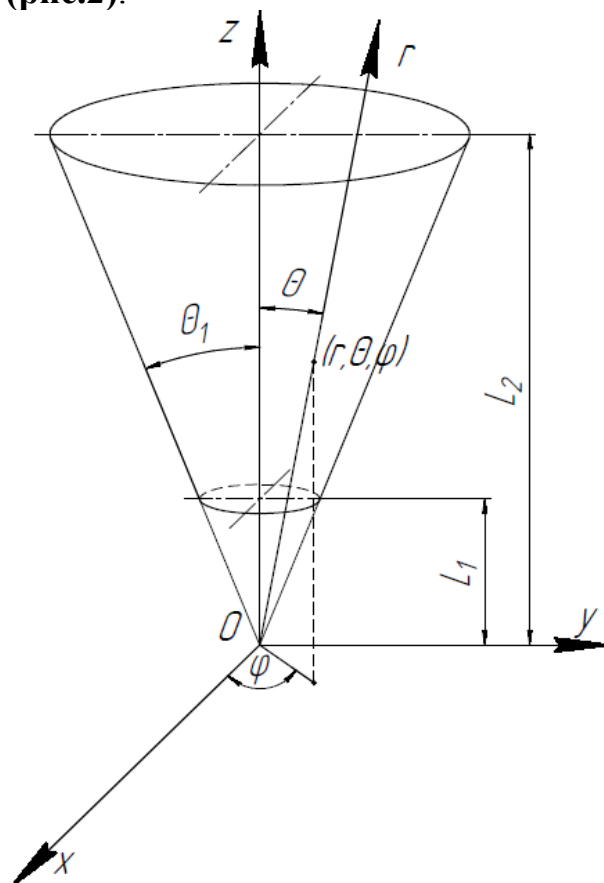
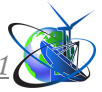


Рис.2 Розрахункова схема



Перепишемо рівняння (1) відповідно до наведеної розрахункової схеми:

$$q = \frac{3\pi\Delta p}{8\mu(L_2 - L_1)} \cdot \frac{L_1^3 L_2^3 \operatorname{tg}^4 \theta_0}{L_1^2 + L_1 L_2 + L_2^2} = \frac{\Delta p}{\mu} \cdot \frac{3\pi L_1^3 L_2^3 \operatorname{tg}^4 \theta_0}{8(L_2 - L_1)(L_1^2 + L_1 L_2 + L_2^2)} = C_K \frac{\Delta p}{\mu}, \quad (2)$$

де L_1 – відстань від початку координат до вихідного зрізу бункера, м;
 L_2 – відстань від початку координат до входу в канал, м;
 θ_0 – кут нахилу похилої стінки каналу до вертикалі, рад.;

$$C_K = \frac{3\pi L_1^3 L_2^3 \operatorname{tg}^4 \theta_0}{8(L_2 - L_1)(L_1^2 + L_1 L_2 + L_2^2)} - \text{конструктивний параметр, м}^3.$$

Звідки:

$$\mu = C_K \frac{\Delta p}{q}, \quad (3)$$

З формули (3) видно, що в'язкість прямо пропорційна відношенню перепаду тиску до витрати і ці величини треба заміряти в ході експерименту. Для спрощення процесу визначення в'язкості необхідно зробити серію експериментів на рідинах з відомими властивостями і визначити витрати q , а за формулою (3) тоді можна розрахувати і перепади тисків Δp , які при цьому виникають. Надалі, маючи всі необхідні складові визначається залежність $\mu = f(q)$ для конкретного віскозиметра, за допомогою якого вимірюючи тільки витрату рідини можна буде визначити її в'язкість.

Недоліком при цьому є необхідність весь час експерименту підтримувати в каналі приладу постійний рівень рідини. Це ускладнює процес вимірювання, а при обмеженій кількості рідини він стає нездійсненим. Простіше розраховувати в'язкість за часом витікання певної кількості рідини. Для цього витрату у віскозиметрі через зміну рівня рідини на висоті z (рис.2), де радіус конуса буде дорівнювати $z \operatorname{tg} \theta_0$ опишемо диференціальним рівнянням:

$$q = S(z) \frac{dz}{dt} = \pi z^2 \operatorname{tg}^2 \theta_0 \frac{dz}{dt}, \quad (4)$$

де $S(z)$ – площа поперечного перерізу каналу на висоті z .

Через суцільність плинну рідини у конічному каналі прирівнюємо рівняння (2) і (4):

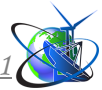
$$\pi z^2 \operatorname{tg}^2 \theta_0 \frac{dz}{dt} = C_K \frac{\Delta p}{\mu},$$

Звідки:

$$dt = \frac{\mu \pi z^2 \operatorname{tg}^2 \theta_0}{C_K \Delta p} dz.$$

Для визначення часу витікання певної кількості рідини t_s з віскозиметра візьмемо інтеграли з обох частин попереднього виразу:

$$\int_0^{t_s} dt = \frac{\mu \pi \operatorname{tg}^2 \theta_0}{C_K \Delta p} \int_{L_2}^{L_1} z^2 dz,$$



$$t_e = \frac{\mu \pi g^2 \theta_0 (L_1^3 - L_2^3)}{3C_K \Delta p}.$$

Підставляємо значення конструктивного параметра C_K в останнє рівняння і отримуємо формулу для розрахунку часу витікання рідини з повністю заповненого каналу висотою L :

$$t_e = \frac{8(L_1^3 - L_2^3)(L_2^3 - L_1^3)}{9L_1^3 L_2^3 g^2 \theta_0} \frac{\mu}{\Delta p} = C_t \frac{\mu}{\Delta p}, \quad (5)$$

$$\text{де } C_t = \frac{8(L_1^3 - L_2^3)(L_2^3 - L_1^3)}{9L_1^3 L_2^3 g^2 \theta_0} = -\frac{8(L_2^3 - L_1^3)^2}{9L_1^3 L_2^3 g^2 \theta_0}.$$

Залежність в'язкості від часу витікання знаходимо з рівняння (5):

$$\mu = \frac{t_e \Delta p}{C_t}.$$

І в цьому випадку для розрахунку реологічних властивостей рідини треба виміряти тільки час повного її витікання з приладу. В'язкість тоді можна буде знайти за залежністю $\mu = \xi(t_e)$, яка попередньо визначається для конкретного розміру конічного каналу віскозиметра.

Висновки

Запропоновані конструкція віскозиметра і формули розрахунку в'язкості дозволяють значно спростити процес вимірювання реологічних характеристик ньютонівських рідин. При цьому отримуються кількісні фізичні характеристики в'язкості, які придатні для вирішення прикладних задач.

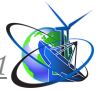
У подальшому планується продовжити дослідження, спрямовані на удосконалення обладнання для дослідження властивостей різноманітних рідин.

Література

1. ГОСТ 9070–77. Вискозиметры для определения условной вязкости лакокрасочных материалов. Технические условия. [Чинний від 1977-01-01]. Вид. оф. М.: Изд-во стандартов, 1994. 10 с. (Міждержавний стандарт).
2. ГОСТ 10028–81. Вискозиметры капиллярные стеклянные. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). [Чинний від 1983-01-01]. Вид. оф. М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. 14 с. (Міждержавний стандарт).
3. Віскозиметр: пат. 140265 U Україна: МПК G01N 11/00 (2006.01). № u201908141; заявл. 15.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3.
4. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 632 с.

References

1. Viskozimetry dlja opredelenija uslovnoj vjazkosti lakokrasocnyh materialov. Tehnicheskie uslovija: GOST 9070–77. – [Vved. 1977-01-01]. — М.: Izd-vo standartov, 1994. — 10 s. — (Mezhhgosudarstvennyj standart).
2. Viskozimetry kapilljarnye stekljannye. Tehnicheskie uslovija (s Izmenenijami N 1, 2): GOST 10028–81. – [Vved. 1983-01-01]. — М.: FGUP «Standartinform», 2005. — 14 s. — (Mezhhgosudarstvennyj standart).
3. Viskozimetr: pat. 140265 U Ukraїna: MPK G01N 11/00 (2006.01). № u201908141; zajavl.



15.07.2019; opubl. 10.02.2020, Bjul. № 3.

4. Tadmor Z., Gogos K. Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov. M.: Himija, 1984. 632 s.

Abstract. *A viscometer is proposed, which provides a significant simplification of the design and facilitate the measurement of the rheological characteristics of research liquids. The measuring tube of the device is conical, which makes it impossible to break the continuity of the flow of the research fluid in it, and therefore there is no need for a wide elbow, as is done with standard viscometers. The proposed calculation formulas for determining the viscosity by flow rate and the time of expiration of the research fluid. The proposed viscometer allows you to directly calculate the quantitative physical characteristics of liquids, while significantly simplifying the design of the device and facilitating its maintenance.*

Key words: *viscometer, Newtonian fluid, conical channel.*



УДК 532.137

IMPROVEMENT OF MEASUREMENT OF VISCOSITY OF CONCRETE MIXTURES DURING VIBRO EXTRUSION**УДОСКОНАЛЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ****Andreiev I. A./ Андреев И. А.***c. t. s., docent / к. т. н., доцент*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2965-8722>**Kramar A. V./ Крамар О. В.***magistrate/ магистрант*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-5371>*Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Peremohy avenue, 03056**Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського,**Київ, проспект Перемоги, 37, 03056*

Анотація. В статті подано запропонований авторами вібровіскозиметр, який моделює процес віброекструзії. Підвищення точності вимірювання в'язкості бетонних сумішей забезпечується за рахунок проведення замірів виключно в серединній зоні каналу приладу, де не виявляється вплив торцевих ділянок на об'ємну витрату. Запропоновані формули для визначення величини серединної зони каналу вібровіскозиметра і часу витікання певної кількості суміші з приладу. Подана методика розрахунку в'язкості фібробетонних сумішей в умовах вібрації.

Ключові слова: вібровіскозиметр, в'язкість, віброекструзія, фібробетонна суміш.

Вступ.

Найбільш надійними і простими віскозиметрами (вібровіскозиметрами), які дозволяють проводити виміри в'язкості бетонів у широкому діапазоні швидкостей зсуву, що зустрічаються в практиці, є прилади капілярного типу. Отримання об'єктивних реологічних характеристик фібробетонних сумішей, придатних для розв'язання прикладних задач, можливе при використанні для цих цілей віскозиметрів, плин матеріалу в яких моделював би процес переробки. Для визначення вібров'язкості фібробетону при безпосередньому формуванні плоских виробів було запропоновано використовувати наявний віброекструдер зі щільним вихідним отвором. В цьому випадку можна отримати кількісні фізичні реологічні характеристики за допомогою наявних теоретичних передумов [1]. Недоліком такого способу вимірювання є зменшення витрати матеріалу в торцевих зонах каналу, що не враховується при розрахунку вібров'язкості, і така похибка буде збільшуватися зі збільшенням відношення H/W , де H – ширина, а W – довжина щільного вихідного отвору.

Постановка задачі

Задачею статті є представлення результатів пошукових досліджень, які були спрямовані на уточнення процесу визначення в'язкості бетонних сумішей при віброекструзії.

Удосконалення вібровіскозиметра

Модернізований вібровіскозиметр [2] містить встановлений на виході зі щільного вихідного отвору віброекструдера розподільник бетонної суміші (див. рис. 1).

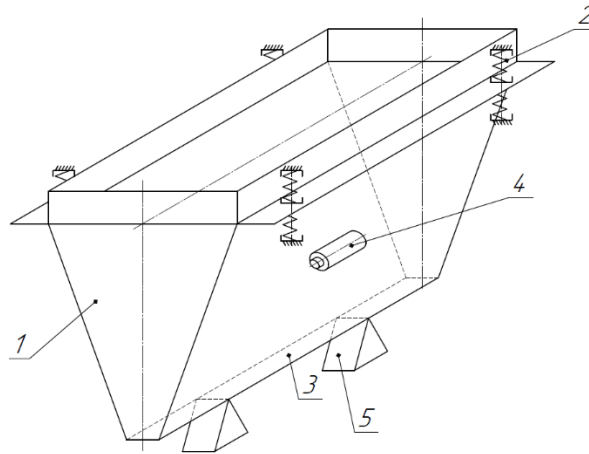
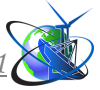


Рисунок 1 – Вібровіскозиметр

1 – бункер, 2 – пружні опори, 3 – роздавальне вікно, 4 – збуджувач коливань, 5 – розподільник

В процесі вимірювання в'язкості бетонна суміш з бункера 1 за допомогою розподільника 5 виводиться окремо з середньої і торцевих зон роздавального вікна 3. В процесі експерименту заміряються початковий рівень бетонної суміші в бункері 1 і час повного витікання бетонної суміші з середньої зони роздавального вікна 3. Визначення в'язкості можна здійснювати і при підтримці постійного рівня бетонної суміші в бункері 1. Для цього бетонна суміш безперервно подається в бункер 1 при включеному збуджувачі коливань 4.

Запропонований вібровіскозиметр забезпечує відбір бетонної суміші з серединної частини роздавального вікна, де відсутній вплив торцевих зон на швидкість її плину, а отже і надає можливість коректного використання існуючої аналітичної формули, що описує плин між плоскими нерухомими стінками, які сходяться.

Розрахунок вібров'язкості бетонних сумішей

Розрахункова схема для опису плину між плоскими нерухомими стінками, які сходяться, подана на рис. 2.

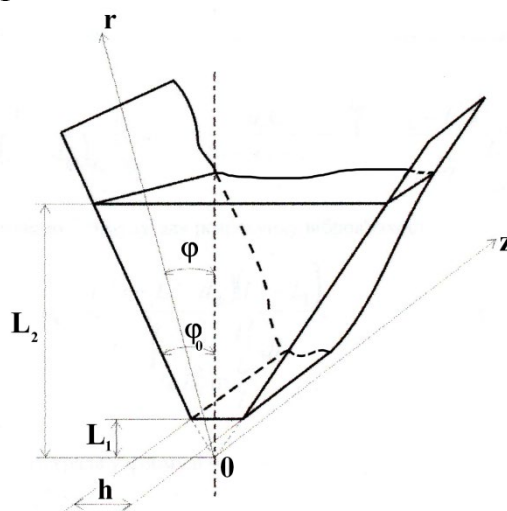


Рисунок 2. Розрахункові схема плину у середній частині плоского симетричного каналу бункера вібровіскозиметра



Враховується, що бетонні і значна частина фібробетонних сумішей в процесі технологічної переробки знаходяться під впливом вібрації і являють собою псевдоньютонівські рідини. В цьому випадку для розрахунку вібров'язкості суміші μ_s за умови підтримання її постійного рівня в бункері використовують формулу [1]:

$$\mu_s = \frac{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)}{2q \cos 2\varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (L_1 + L_2)}, \quad (1)$$

де φ_0 - кут нахилу похилої стінки каналу до вертикалі, рад. ($\varphi_0 < 45^\circ$); L_1 - відстань від початку координат до вихідного зрізу бункера, м; $L_2 - L_1$ - висота стовпа суміші в бункері, м; ρ - густина оброблюваної суміші, кг/м³; $g = 9,81$ м/с² - прискорення сили тяжіння; q - продуктивність одиниці довжини нескінченного плоского симетричного каналу, що звужується, м²/с.

Визначення величини серединної зони каналу вібровіскозиметра

Поперечний переріз бункера вібровіскозиметра являє собою прямокутник, тому для опису впливу торцевих зон бункера на швидкість її плин у приладі розглянемо існуючі формули, які описують плин ньютонівської рідини у прямокутному каналі. Наявні аналітичні вирази [3–6] мають складний вигляд і практичне їх використання показало обмеженість застосування цих формул. Тому для розгляду процесу плин скористаємось запропонованою спрощеною формулою [7], яка зручна для подальшої математичної обробки і не має обмежень у застосуванні. Поздовжня швидкість у каналі шириною W і висотою H у напрямках x і y , при розташуванні початку координат в центрі цього каналу, розраховується за формулою:

$$u_z = u_{z\max} \left[1 - \left(\frac{2x}{W} \right)^i \right] \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^j \right], \quad (2)$$

де $u_{z\max}$ - максимальна швидкість в центрі каналу, м/с; W - ширина прямокутного каналу, м; H - висота прямокутного каналу, м.

Показник степеня i при $1 \leq W/H \leq 3$ розраховується за формулою $i = 0,2457 \left(\frac{W}{H} \right)^2 - 0,1309 \frac{W}{H} + 2,084$, а при $W/H \geq 3$ $i = 1,3 \frac{W}{H}$.

Показник степеня j при $1 \leq W/H \leq 4$ розраховується за формулою $j = 0,0129 \left(\frac{W}{H} \right)^2 - 0,1311 \frac{W}{H} + 2,3185$, а при $W/H \geq 4$ $j = 2$.

Запропонований вібровіскозиметр моделює процес віброекструзії плоских фібробетонних виробів і в цьому випадку $W/H \geq 4$, тому $j = 2$, а $i = 1,3 \frac{W}{H}$. Таким чином, формулу (2) можна записати у вигляді:



$$u_z = u_{zmax} \left[1 - \left(\frac{2x}{W} \right)^{1,3W/H} \right] \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

У випадку плоского пуазейлевого плину (у плоскій щілині) швидкість плину розраховується за формулою:

$$u_z = u_{zmax} \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Формула (3) відрізняється від формули (4) наявністю складової $\left[1 - \left(\frac{2x}{W} \right)^{1,3W/H} \right]$, яка відповідає за гальмування рідини в торцевих зонах каналу.

Назвемо цю складову коефіцієнтом впливу торцевих зон на швидкість плину рідини і позначимо $K_B = 1 - \left(\frac{2x}{W} \right)^{1,3W/H}$.

Тоді формулу (3) для щілиноподібних прямокутних каналів, коли $W/H \geq 4$, можна записати таким чином:

$$u_z = u_{zmax} K_B \left[1 - \left(\frac{2y}{H} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

Використовуючи отриману формулу можна визначити величину серединної частини каналу вібровіскозиметра, в якій відсутній вплив торцевих зон на швидкість плину бетонної суміші. При цьому треба враховувати, що довжина цієї серединної зони збільшується по ходу плину суміші через зменшення площі перерізу каналу вібровіскозиметра. Так, наприклад, при віброекструзійному формуванні плоскої плити товщиною $H = 40$ мм і шириною $W = 500$ мм, коли $\varphi_0 = 30^\circ$ (рис. 3), формулу (5) можна використовувати у вихідній зоні вібровіскозиметра на висоті $z \leq 108,25$ мм (коли $W/H \geq 4$).

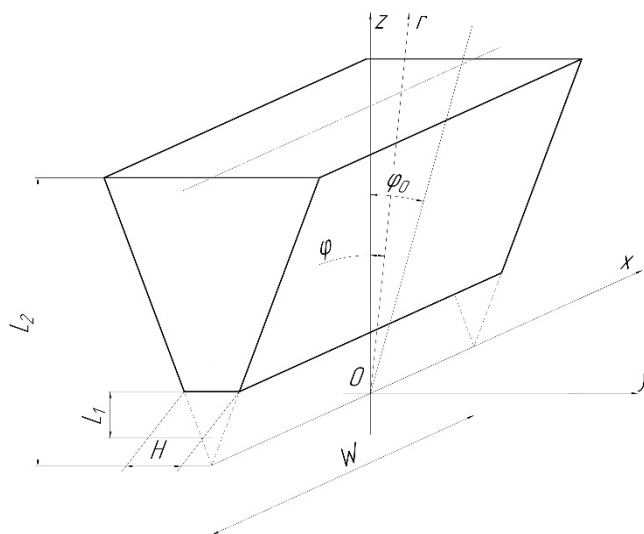


Рис. 3. Розрахункова схема плину бетонної суміші в каналі бункера вібровіскозиметра

Криві зміни коефіцієнту впливу торцевих зон K_e залежно від висоти z наведені на рис. 4:

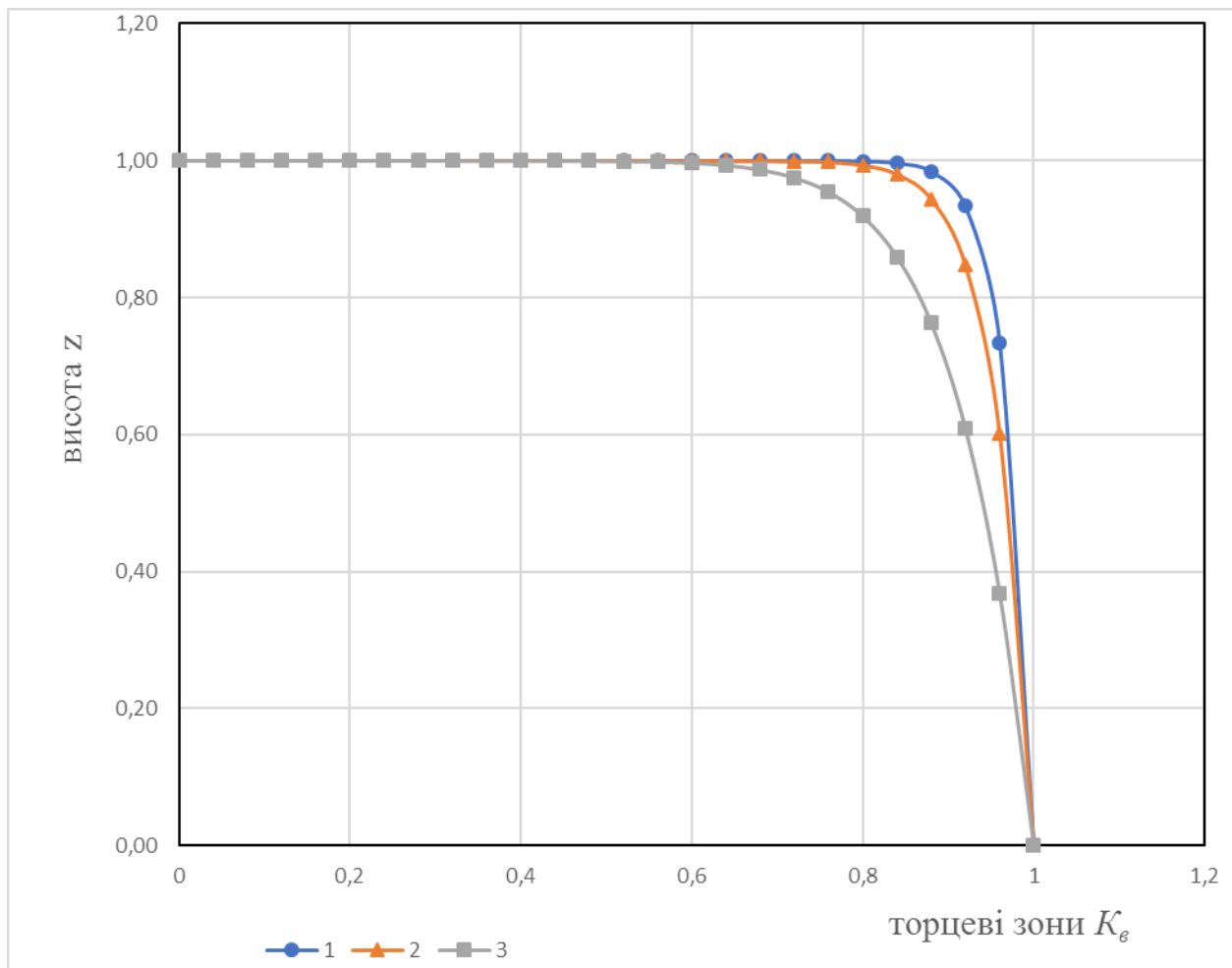


Рис. 4. Графіки для визначення коефіцієнту впливу торцевих зон K_g

За результатом виконаних розрахунків і наведеного графіка (рис. 4) можна зробити висновок, що серединна зона на виході з бункера вібровіскозиметра складає $0,9 W$, тобто 450 мм. При цьому мінімальне значення коефіцієнту впливу K_g становить 0,97 (коли $2x/W = 0,9$).

Розрахунок часу витікання бетонної суміші з вібровіскозиметра

Для визначення вібров'язкості за формулою (1) необхідно весь час експерименту підтримувати в бункері приладу постійний рівень суміші L_2 (рис. 3). Це ускладнює процес вимірювання, а при обмеженій кількості матеріалу він стає нездійсненим. Простіше розраховувати вібров'язкість за часом витікання певної кількості бетонної суміші. Для цього була винайдена формула, обчислення за якою виконується наближеними методами [1]. В даній роботі автори пропонують іншу формулу для знаходження повного часу витікання суміші з приладу.

З формули (1) отримаємо вираз для розрахунку продуктивності одиниці довжини нескінченного плоского симетричного каналу, що звужується:

$$q = \frac{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)}{2\mu_g \cos 2\varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (L_1 + L_2)}. \quad (6)$$

Витрату у вібровіскозиметрі через зміну рівня суміші на висоті z (рис. 3), де ширина каналу буде дорівнювати $2ztg\varphi_0$, опишемо диференціальним рівнянням:



$$q = S(z) \frac{dz}{dt} = 2ztg\varphi_0 \frac{dz}{dt}, \quad (7)$$

де $S(z)$ – площа одиниці довжини поперечного перерізу каналу на висоті z .

Через суцільність плинущої суміші у каналі прирівнюємо рівняння (6) і (7):

$$2ztg\varphi_0 \frac{dz}{dt} = \frac{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)}{2\mu_s \cos 2\varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (L_1 + L_2)}.$$

Звідки:

$$dt = \frac{4\mu_s \cos 2\varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (L_1 + L_2) tg\varphi_0}{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)} z dz.$$

Для визначення часу витікання певної кількості суміші t_s з вібровіскозиметра візьмемо інтеграли з обох частин попереднього виразу:

$$\int_0^{t_s} dt = \frac{4\mu_s \cos 2\varphi_0 \cos^2 \varphi_0 (L_1 + L_2) tg\varphi_0}{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)} \int_{L_2}^{L_1} z dz.$$

Звідки:

$$t_s = \frac{\mu_s \sin 2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 (L_1 + L_2) (L_1^2 - L_2^2)}{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)} = C_k \frac{\mu_s}{\rho g}, \quad (8)$$

де $C_k = \frac{\sin 2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 (L_1 + L_2) (L_1^2 - L_2^2)}{L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0)}$ – конструктивний параметр, м⁻¹.

Тоді, з рівняння (8) визначимо формулу для розрахунку вібров'язкості бетонної суміші:

$$\mu_s = \frac{\rho g L_1^2 L_2^2 (2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0) t_s}{\sin 2\varphi_0 \cos 2\varphi_0 (L_1 + L_2) (L_1^2 - L_2^2)} = \frac{\rho g t_s}{C_k} \quad (9)$$

В результаті розрахунку вібров'язкості фібробетонної суміші із застосуванням запропонованою авторами формулою (9), використовуючи при цьому експериментальні дані прикладу [1], було отримано значення $\mu_s = 216,87$ МПа. Різницю отриманих результатів (в статті [1] $\mu_s = 182,28$ МПа) можна пояснити таким чином. В запропонованій раніше методиці при виведенні розрахункової формули для ліквідації властивого інтегралу нижню межу цього інтегралу прийшлося збільшити (при чому, в кожному окремому випадку ця межа повинна встановлюватися окремо), а сам розрахунок інтегралу, через складність, був виконаний наближеним методом. І це позначилося на точності отриманого результату.

Висновки

Запропоновані авторами конструкція вібровіскозиметра, а також формули для розрахунку коефіцієнту впливу торцевих зон і вібров'язкості дозволяють збільшити точність вимірювання реологічних характеристик бетонних сумішей. При цьому процес вимірювання повністю моделює віброекструзію плоских виробів.

Наведені прилад і методика розрахунку вібров'язкості можна використовувати для визначення реологічних характеристик будь-яких псевдоньютонівських рідин.



У подальшому планується продовжити дослідження властивостей фібробетонних сумішей під впливом вібрації.

Перелік посилань

1. Андреев І. А., Прокоф'єв К. В. Вимірювання в'язкості фібробетону при віброекструзії. Наукові вісті НТУУ «КПІ». Київ, 2000. № 5. С. 64–67.
2. Вібровіскозиметр для бетонних сумішей: пат. 140266 У Україна: МПК G01N 11/00 (2006.01). № u201908142; заявл. 15.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3.
3. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 632 с.
4. Мак-Келви Д. М. Переработка полимеров. М.: Химия, 1965. 444 с.
5. Рауз Х. Механика жидкости. М.: Стройиздат, 1967. 390 с.
6. Хаппель Дж., Бренер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М.: Мир, 1976. 630 с.
7. Андреев І. А. Отримання спрощеної формули для опису ламінарної течії ньютонівської рідини в прямокутному каналі за допомогою «методу впливу». Наукові вісті НТУУ «КПІ». Київ, 2010. №1. С. 88-92.

Abstract. The article presents a vibration viscometer proposed by the authors, which simulates the process of vibration extrusion. Improving the accuracy of measuring the viscosity of concrete mixtures is ensured by conducting measurements exclusively in the middle zone of the channel of the device, where the end sections do not affect the volumetric flow rate. The proposed formulas for determining the size of the middle zone of the channel of the viscometer and the time of leakage of a certain amount of the mixture from the device. The presented methodology for calculating the viscosity of fiber-reinforced concrete mixtures under vibration conditions.

Key words: vibration viscometer, viscosity, vibration extrusion, fiber-reinforced concrete mix.

Стаття отправлена: 09.06.2020 г.
© Крамар О. В., Андреев І. А.



УДК 004.2

ANALYSIS OF SIGNIFICANT TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE
PROCESS CUTTING SHOE UPPER DETAILSАНАЛІЗ ВАГОМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ
РОЗКРОЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

Rosul.R./Росул Р.В.

c.t.s., doc. / к.т.н., доц.

Rosul.O./Росул О.Р.

student/студент

Mukachevo State University, Mukachevo, Uzhhorod, 26,89600

Мукачевський державний університет, Мукачево, Ужгородська, 26,89600

Анотація В роботі приведені принципи, підходи для точного дослідження факторів, що впливають на якість розкроювання деталей верху взуття. За допомогою нового пристрою із застосуванням інформаційних технологій досліджено, як ці чинники впливають на технологічне зусилля, стійкість інструменту та режими виконання технологічних операцій при диференційованих навантаженнях. Зокрема, закономірності, що характеризують процес різання м'яких шкір, ще мало досліджені. Відомо що, такі характеристики, як технологічне зусилля, стійкість інструменту та режими виконання технологічних операцій входять в число основних параметрів, що визначають потужність, габарити і продуктивність вирубного пресу. В зв'язку з цим виникає необхідність у визначенні залежності параметрів пресового обладнання від характеристик різання. Поставлена мета досягається тим, що запропонований нами пристрій оснащено спеціальним пристосуванням для магнітно-імпульсної обробки металів В останні роки в машинобудуванні і приладобудуванні отримав розповсюдження метод (МІОМ). Суть цього методу полягає в тому, що металеву заготовку поміщають в сильніше магнітне поле, яке створюється за допомогою миттєвого розряду конденсаторної батареї. Встановлено, що збільшення швидкості занурення різак в матеріал вирубної плити на 0,5 мм, для забезпечення гарантованого вирубання, не веде до значного збільшення коефіцієнта динамічності. При швидкостях вирубання в межах 1...7 м/с коефіцієнт k_v , як показав експеримент, для матеріалів, що досліджувались змінюється в межах 1,52...1,9. Отримано графічні залежності, що дозволяють визначити глибину занурення різак в матеріал в залежності від матеріалу вирубної плити, кута загострення різак та швидкості його занурення. Дані залежності підтверджують, що швидкість занурення різак в матеріал близька до швидкості розвитку тріщини. Отримані залежності використані в математичній моделі при розрахунку технологічного зусилля вирубання.

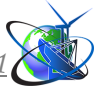
Ключові слова: розкроювання, навантаження, технологічне зусилля, різак, випереджаюча тріщина, лезо, вирубна плита, магнітно-імпульсна обробка, вирубний прес, ударник.

Вступ

У статті розглядається дослідження факторів, що впливають на якість розкроювання деталей верху взуття. За допомогою нового пристрою із застосуванням інформаційних технологій досліджено, як ці чинники впливають на технологічне зусилля, стійкість інструменту та режими виконання технологічних операцій при диференційованих навантаженнях.

Постановка проблеми

При виконанні таких технологічних операцій, як вирубання деталей верху взуття, невірний вибір геометричних параметрів різак та матеріалу вирубної плити зокрема призводить до зменшення стійкості різак, що в свою



чергу викликає додаткові витрати енергії, та роботу обладнання в режимі перевантаження. З іншого боку, така невідповідність призводить, як до неякісного виконання даних технологічних операцій, так і до інтенсивного зношення поверхні вирубної плити, що відповідно призводить до додаткових витрат матеріалів та енергії, пов'язаних з переробкою, відновленням та виготовленням нових плит, а також до зниження продуктивності праці. Крім того, неякісна поверхня різання після вирубання призводить до погіршення товарного виду взуття, що вимагає проведення додаткових технологічних операцій. Зважаючи на постійно зростаючу роль точності вирубання і підвищення зносостійкості вирубної плити, високоточне дослідження цього процесу із використанням ПЕОМ є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Операція вирубання деталей верху взуття є окремим випадком операції різання. Оскільки існують загальні принципи теорії різання, доцільно розглянути роботи по дослідженню процесу різання.

Зокрема, закономірності, що характеризують процес різання м'яких шкір, ще мало досліджені. Відомо що, такі характеристики, як технологічне зусилля, стійкість інструменту та режими виконання технологічних операцій входять в число основних параметрів, що визначають потужність, габарити і продуктивність вирубного пресу. В зв'язку з цим виникає необхідність у визначенні залежності параметрів пресового обладнання від характеристик різання.

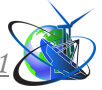
Дослідження процесу різання та ріжучого інструменту почалося в першій половині XX сторіччя, при цьому спочатку вивчали різання та ріжучий інструмент, що застосовувався при обробці металів. Пізніше з'явилися роботи по дослідженню процесу різання дерева, ще пізніше роботи по дослідженню різання м'яких матеріалів, таких як: продуктів харчової промисловості, гуми, шкіри, полімерних матеріалів, картону, та інших не металевих матеріалів. В зв'язку з цим теорія різання не металевих матеріалів запозичила методи дослідження, а також закони різання з теорії обробки металів і деревини.

В роботах по дослідженню процесу різання текстоліту, пластмас, формули стійкості та швидкості побудовані за методикою, прийнятою при обробці металів [1 – 4].

Зовсім іншою повинна бути теорія різання матеріалів, що застосовуються при виготовлення верху взуття, а саме: натуральної та синтетичної шкір, текстилю, тощо. Тут необхідно виводити поняття про ріжучу здатність леза різача та його стійкість, тобто збереження цієї здатності протягом певного періоду часу.

Перші роботи по дослідженню процесу різання шкіри, текстилю, картону, гуми належать Л.Я. Шуранову, Г.Ф. Гебелю, К.М. Платунову, Д.М. Сидорову, С.А. Черкудінову, І.Є. Антонечко, І.В. Можасєву, І.І. Капустіну.

К.М. Платунов і Д.М. Сидоров вперше використали осцилограф при проведенні експериментальних досліджень, визначивши при цьому зусилля, діючі при вирубванні шкіри. Досліди проводились з різними матеріалами з використанням набору різаків з різними кутами загострення та величиною



притуплення.

В цих роботах автори встановили наступне:

1. Найбільший опір виникає при прорізання і прорубуванні шкіри, тобто при руйнуванні її лицьового прошарку.
2. Встановлений оптимальний кут загострення різака 15° .
3. Затуплення різака супроводжується збільшенням зусилля різання.

В даних дослідженнях вперше розглянута система "різак-матеріал", а результати отриманні авторами та методика проведення експерименту використовувались в подальших дослідженнях. Однак, авторами не враховувалась зносостійкість леза різака, в результаті чого, на наш погляд, отримане значення оптимального кута загострення дещо занижене.

Формулювання цілі статті

При розкроюванні верху взуття встановлена доцільність застосування магнітно-імпульсної установки для виконання технологічних операцій вирубування з метою підвищення їх якості, адаптовано конструкцію магнітно-імпульсного пресового обладнання ударної дії для виконання технологічних операцій вирубування, вибір оптимальних режимів занурення різака в матеріал та його взаємодії з вирубною плитою.

Виклад основного матеріалу

Для розрахунку технологічного зусилля вирубування розглянемо залежність зусилля Q , тобто максимальної сили вирубування, що діє на різак з двостороннім симетричним загостренням з боку матеріалу:

$$Q_2 = P + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} \cdot (f + tg\beta) \quad (1)$$

де 2β – кут загострення різака;

P, f, σ_{cm} - вид матеріалу, що обробляється;

Q_4, f_n - вид матеріалу вирубної плити;

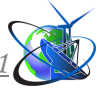
B - периметр різака, мм;

$V_{вир}$ - швидкість руху ударника преса м/с;

Враховуючи довжину леза різака

$$Q_2 = B \cdot [P + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} \cdot (f + tg\beta)] \quad (2)$$

Як видно з формули (1), технологічного зусилля співставлене із зусиллям Q , яке необхідне для занурення різака в матеріал плити на 0,5 мм, що забезпечує гарантоване вирубування. Якщо при співставленні зусилля занурення різака в матеріал плити перевищує технологічне зусилля за формулою, то необхідно або замінити матеріал вирубної плити, або на етапі проектування, при визначенні основних параметрів пресового обладнання, використовувати значення Q . За результатами експериментальних досліджень встановлено, що при виконанні технологічних операцій вирубування деталей взуття, як правило виникає випереджаючий розрив матеріалу. Глибина занурення різака в матеріал залежить від наступних факторів: швидкості ударника та інструменту, матеріалу вирубної плити, коефіцієнтів тертя в системі „різак-матеріал-плита”, геометричних параметрів інструменту. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що при швидкостях 4...7 м/с можна досягти занурення різака в матеріал на глибину 0,7...0,9 його товщини. Даних швидкостей можна досягти використовуючи пресове



обладнання з електромагнітним двигуном та на магнітно-імпульсних установках.

Поставлена мета досягається тим, що запропонований нами пристрій оснащено спеціальним пристосуванням для магнітно-імпульсної обробки металів. В останні роки в машинобудуванні і приладобудуванні отримав розповсюдження метод (MIOM). Суть цього методу полягає в тому, що металеву заготовку поміщають в сильне магнітне поле, яке створюється за допомогою миттєвого розряду конденсаторної батареї. Спочатку конденсатори батареї за допомогою блоку живлення заряджаються до робочої напруги. А потім проходить розряд конденсаторної батареї на котушку індуктивності – робочий індуктор. При цьому в металі заготовки індукуються вихрові струми, взаємодія яких зі струмом індуктора призводить до виникнення зусиль, що деформують заготовку. Таким чином, електрична енергія безпосередньо перетворюється в роботу деформації заготовки [1 – 4].

Принципова схема установки для отримання імпульсного магнітного поля працює наступним чином (рис. 1) [5].

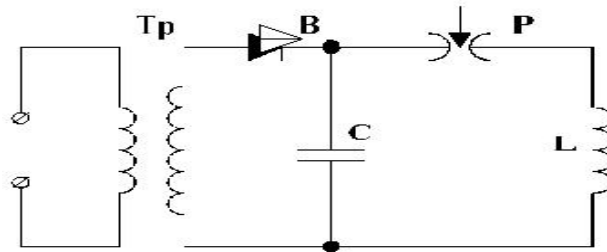
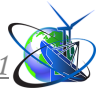


Рис. 1. Принципова схема установки для магнітно-імпульсної обробки металів

Від джерела струму через трансформатор *Tr* і випрямляч *B* здійснюється зарядка батареї конденсаторів *C*. При досягненні заданого рівня енергії за допомогою розрядника *P* здійснюється миттєвий розряд конденсаторної батареї на робочий індуктор *L*.

Тривалість дії магнітного поля не перевищує декілька десятків мікросекунд. При цьому енергія, що виділяється, витрачається на роботу по деформуванню заготовки, на проникнення магнітного поля в заготовку і на її нагрівання. Короткочасність дії імпульсу приводить до того, що на проникнення магнітного поля в заготовку і на її нагрівання витрачається лише невелика частина всієї енергії. Але короткочасність дії магнітного поля повинна бути компенсована створенням високого тиску, необхідного для надання заготовці кінетичної енергії, достатньої для здійснення її формозміни. Іншими словами, для створення таких полів необхідна значна кількість енергії, що виділяється за дуже малий проміжок часу.

Даний метод здійснює формозміну деталей з різних металів і сплавів. Але переважне використання отримала обробка металів і сплавів, що мають високу електропровідність (алюміній, мідь і їх сплави), оскільки вони допускають ряму формозміну заготовок. Для деформування заготовок з матеріалів з низькою електропровідністю використовують матеріали і покриття з металів, що мають високу електропровідність – “супутники”.



Порівняно з традиційними методами обробки металів метод магнітно-імпульсної обробки має деякі вагомі переваги до яких можна віднести [98 – 112]:

- високу продуктивність технологічного процесу;
- можливість легкої механізації і автоматизації технологічного процесу;
- велику технологічну гнучкість процесу;
- простоту технологічної оснастки;
- високу культуру виробництва і простоту обслуговування обладнання;
- безшумність роботи;
- економічність та екологічну чистоту.

На рис. 2. представлення конструктивна схема магнітно-імпульсної установки. Вона включає в себе закріплену на консолі 1 індукторну систему, що містить плоский індуктор 2, рухомий супутник 3, що продубльований технологічною прокладкою 4, а також направляючі шпильки 5. В технологічне оснащення входять: різак 6, плита 7. Гайка 8 дає змогу закріплювати пружину 11 різної жорсткості, а також замінювати супутник. За допомогою гайки 8 та шпильки 9 регулюється початкове положення супутника по відношенню до індуктора 2.

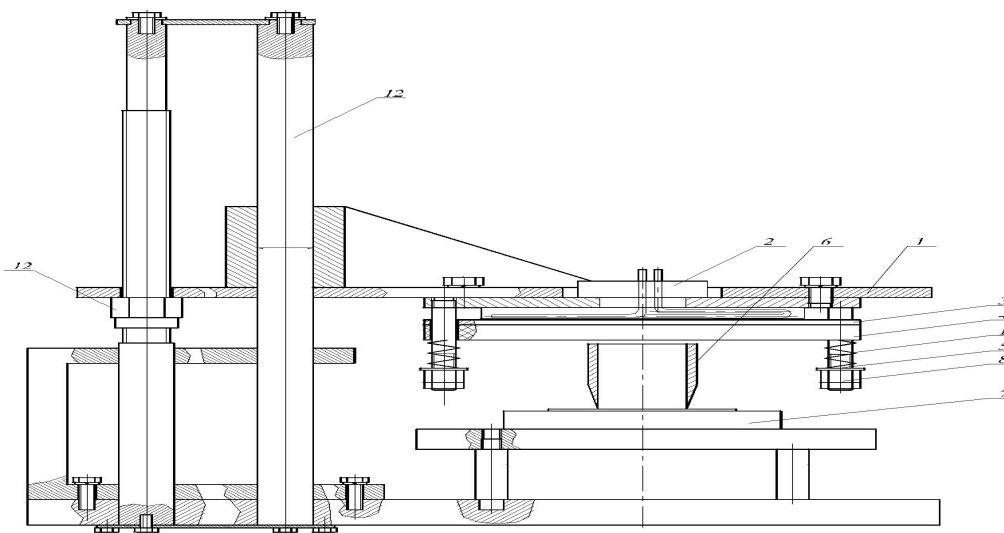
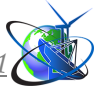


Рис. 2. Конструктивна схема МІУ

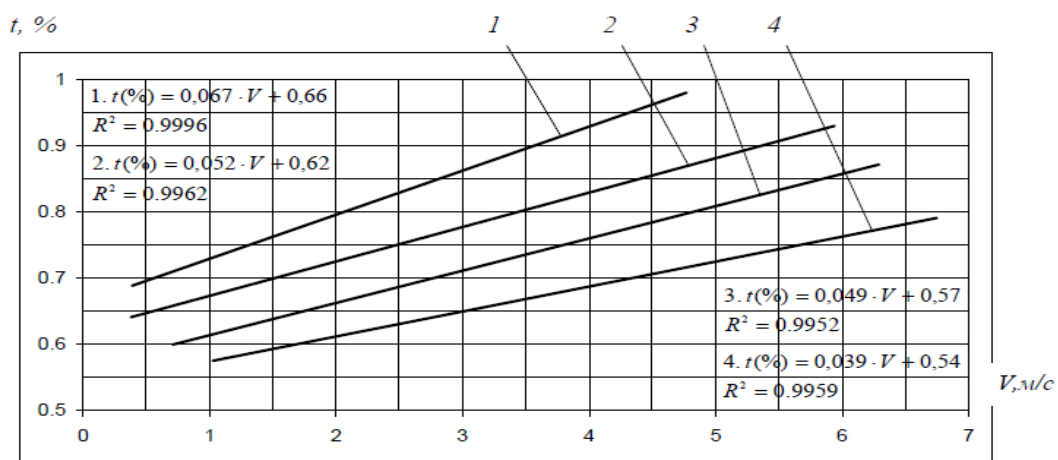
Гайка 10 дає змогу встановити положення індукторної системи відносно технологічного оснащення. Поворотом гайки забезпечується переміщення консолі 1 разом із закріпленою індукторною системою по напрямним 12. Магнітно-імпульсне пресове обладнання, що призначене для виконання технологічних операцій легкої промисловості, працює наступним чином. Супутник 3 разом з технологічною прокладкою 4 знаходиться в початковому положенні завдяки пружинам 11. Початкове положення супутника, як по відношенню до індуктора так і технологічної оснастки, визначається в залежності від умов виконання та режимів технологічної операції вирубкування чи перфорування. При подачі імпульсу напруги на спіраль індуктора 2 в матеріалі супутника індуються вихрові струми, взаємодія яких зі струмом індуктора призводить до виникнення електромагнітної сили F_{el} . Під дією



електромагнітної сили супутник 3 разом з технологічною прокладкою відштовхується від індуктора.

Після досягнення ударником різаків відбувається виконання технологічної операції вирубування зразка деталі взуття. По закінченню виконання операції ударник повертається в початкове положення під дією пружин 11, після чого цикл повторюється.

За визначеними графічними залежностями рис.3 можна встановити глибину занурення різаків в матеріал в залежності від матеріалу вирубної плити, кута загострення різаків та швидкості його занурення. Отримана залежність показує, глибину занурення різаків в матеріал до початку виникнення випереджаючого розриву. Дані залежності використовуються для коректування значення технологічного зусилля.



**Рис.3. Залежність глибини занурення різаків в шкіру до початку виникнення випереджаючої тріщини від його швидкості занурення
1- $\beta=25^\circ$, 2- $\beta=35^\circ$, 3- $\beta=45^\circ$, 4- $\beta=55^\circ$**

Отже при стисканні верхніх прошарків матеріалу різак, величина сили пружного опору буде залежати від площі їх контакту. Довжина поверхні різаків, що контактує з матеріалом, явно залежить від кута загострення різаків. При цьому, при однаковій глибині стискання і однаковому радіусі закруглення, довжина поверхні контакту збільшується за рахунок збільшення контактуючої довжини бічних граней. З першого погляду довжина перехідної поверхні зменшується зі збільшенням кута загострення. Це справедливо лише при однаковому радіусі закруглення. В дійсності довжина перехідної поверхні збільшується із збільшенням величини кута загострення, за рахунок збільшення нерівностей, та більшого радіусу закруглення, як це видно

Висновки

1. Встановлено, що збільшення швидкості занурення різаків в матеріал вирубної плити на 0,5 мм, для забезпечення гарантованого вирубування, не веде до значного збільшення коефіцієнта динамічності. При швидкостях вирубування в межах 1...7 м/с коефіцієнт k_V , як показав експеримент, для матеріалів, що досліджувались змінюється в межах 1,52...1,9. Отримані рівняння залежності коефіцієнта k_V від швидкості вирубування для різних



матеріалів вирубних плит будуть використовуватись для коректування розрахункового значення технологічного зусилля вирубування.

2. Отримано графічні залежності, що дозволяють визначити глибину занурення різак в матеріал в залежності від матеріалу вирубної плити, кута загострення різак та швидкості його занурення. Дані залежності підтверджують, що швидкість занурення різак в матеріал близька до швидкості розвитку тріщини. Отримані залежності використані в математичній моделі при розрахунку технологічного зусилля вирубування.

Перспективи подальших розробок

В подальших дослідженнях передбачається оснащення розглянутого пристрою поліетиленовими плитами при виконанні технологічних операцій вирубування як на електрогідравлічному так і на магнітно-імпульсному пресовому обладнанні.

Література

1. Раскинд В.Л. Технология раздела металла на заготовки. – М.: Машпром, 1961. – 245 с.
2. Кононенко В.Г., Зайцев К.И. Высокоскоростное (импульсное) разделение холодного металла. – В сб.: Импульсная обработка металлов давлением. Вып. 2. – Х.: Харьковский авиационный институт, 1970. – С. 15–39.
3. Германиес Э. Справочник книга технолога – полиграфиста. Перевод с немецкого. – М.: Книга, 1982. – 336 с.
4. Энштейн Б.Г., Кайбышев О.А. Высокоскоростная деформация и структура металлов. – М.: Металлургия, 1971. – 317 с.
5. Степанов В.Г., Шавров И.А. Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов давлением. – Л.: Машиностроение. 1975. – 280 с.

Статья отправлена: 11.06.2020 г.

© Росул Р.В.



УДК 631.37.016

PROCESSING MODULE OF MOBILE AGRO-FOOD TECHNOLOGICAL COMPLEX ACCORDING TO THE CONCEPT "CONVENIENT FOOD"**МОДУЛЬ ПЕРЕРОБКИ МОБІЛЬНОГО АГРАРНО-ХАРЧОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ «ЗРУЧНА ЇЖА»****Naumenko O.P. / Науменко О.П.***d.t.s., prof. / д.т.н., проф.*

ORCID 0000-0002-5115-1584

Kovalyov S.V. / Ковальов С.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8839-2392

Ukrainian State Chemical Technology University, Dnipro, Ave. Gagarin, 8, 49005

Український державний хіміко-технологічний університет,

Дніпро, просп. Гагаріна, 8, 49005

Анотація. Стаття присвячена розробці концепції модуля переробки, який входить до складу мобільного комплексу для переробки овочів та фруктів. У вступі до роботи проаналізовано основні проблеми, які стоять перед виробниками сільськогосподарської продукції. В основній частині запропоновано концептуальну схему мобільного аграрно-харчового технологічного комплексу, який дозволить переробляти плоди на порошок для виготовлення соків, нектарів та ін. Запропоновано модуль переробки.

Ключові слова: транспорт, обладнання, аграрне виробництво, харчове виробництво, порошок, фруктов-овочева сировина.

Вступ

Успіхи селекції рослинних культур обмежує проблема нестачі робітників на своєчасний збір (рис. 1), транспортування, збереження й переробку врожаю.

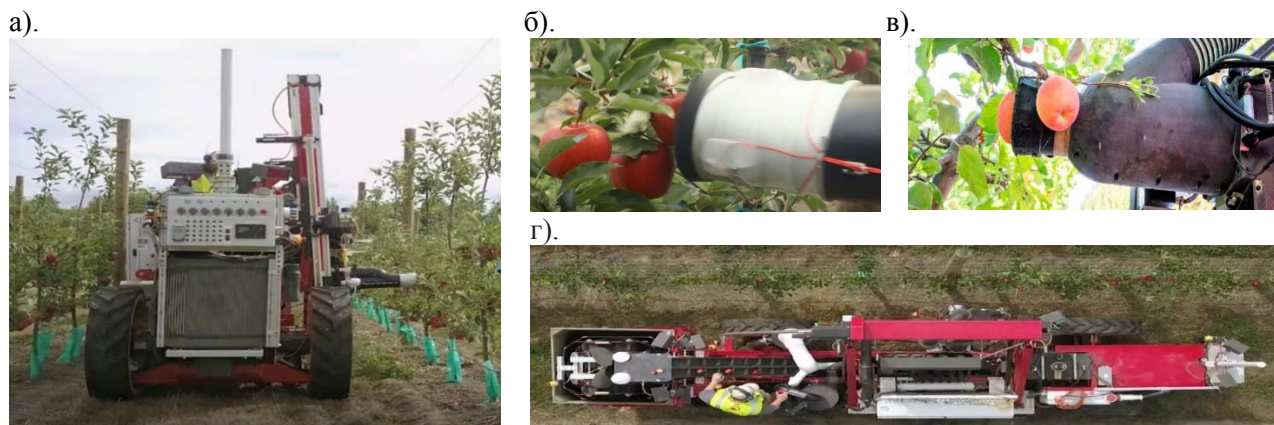
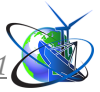


Рис. 1. Зовнішній вигляд роботизованого комплексу збирання врожаю яблук у екстенсивних фруктових садах (а) з вакуумними захватами визначення зрілості і зняття яблук (б, в) та транспортером-укладачем знятих яблук у транспортні ящики (г).

Джерело: [2, 3]

Напрацювання у вигляді [1-6] роботизованих комплексів збирання фруктов-овочевого врожаю дозволяють суттєво збільшити продуктивність, обережніше поводитись з плодами та уникнути примх людського фактору. Але таке технічне рішення дозволяє здійснити лише частково зменшити потребу у



сезонних робітникахта уникнути механічних пошкоджень плодів при збиранні врожаю. Однак залишається комплекс проблем укладання, транспортування, сортування, переробки..., які все ще не вирішено.

Продовж тривалого часу у аграрному секторі поширюється напрямок на відпрацювання мобільних міні комплексів виробництва та роздачі комбікормів (рис. 2), досвід якого можна використати при створенні новітнього обладнання.

а).



б).



Рис. 2. Зовнішній вигляд мобільного мінікомплексу виробництва та роздачі комбікорму причіпного до трактору чи автомобілю (а) та самохідного на автомобільному шасі (б)

Джерело: [4, 5]

На підставі поєднання двох означених вище технічних рішень привабливою виглядає розробка інноваційного проекту створення новітнього виду обладнання - **мобільний аграрно-харчовий технологічний комплекс**, який передбачає в його межах здійснення процесів від визначення зрілості плодів до виробництва фруктово-овочового порошкуй герметичного пакування у транспортну тару. На спеціальному чи універсальному колісному шасі компоновка із змінних модулів, що поширює можливість використання комплексу навіть з весняних робіт. При цьому вирішальний вплив на функціонування комплексу має модуль переробки [7].

Основний текст

Модуль переробки складається з послідовно пов'язаних технологічних блоків, що у вигляді принципової схеми наведені на рис. 3.

У блок мийки (I) завантажують зібрані плоди, де їх відмивають від бруду та пилу. Блок мийки плодів складається з ванни з перемішуючим пристроєм. У ванні фрукти обробляються водою та дезінфікуючим засобом, за потреби. З блоку мийки плоди направляють до блоку фрагментації (II), де плоди розрізають на шматочки за допомогою механізму з гільйотинним ножом. Подалі шматочки плодів у блоку сепарації (III) де на центрифугі перетворюються на плодове пюре з видаленням кісточок, плодоніжки та інших не корисних складових. Блок термовакуумного сушіння - «тепла» термовакуумна переробка пюре у сухий агломерат (рис. 4), яку здійснюють на вакуумному екструдері (IV) за наступними параметрами: температура не більш ніж 45 °C та вакуум 0,1 бар.

Блок термовакуумного сушіння працює наступним чином. Через вхідний штуцер (5) подають плодове пюре у обладнання переробки. У корпусі апарату (4) встановлено привід (1) вал (2) та шнек (3), який при обертанні переміщує та



поступово ущільнює плодове пюре, витискуючи «вільну вологу». У вакуумному середовищі вже при 45 °С вода з пюре починає випаровуватися.

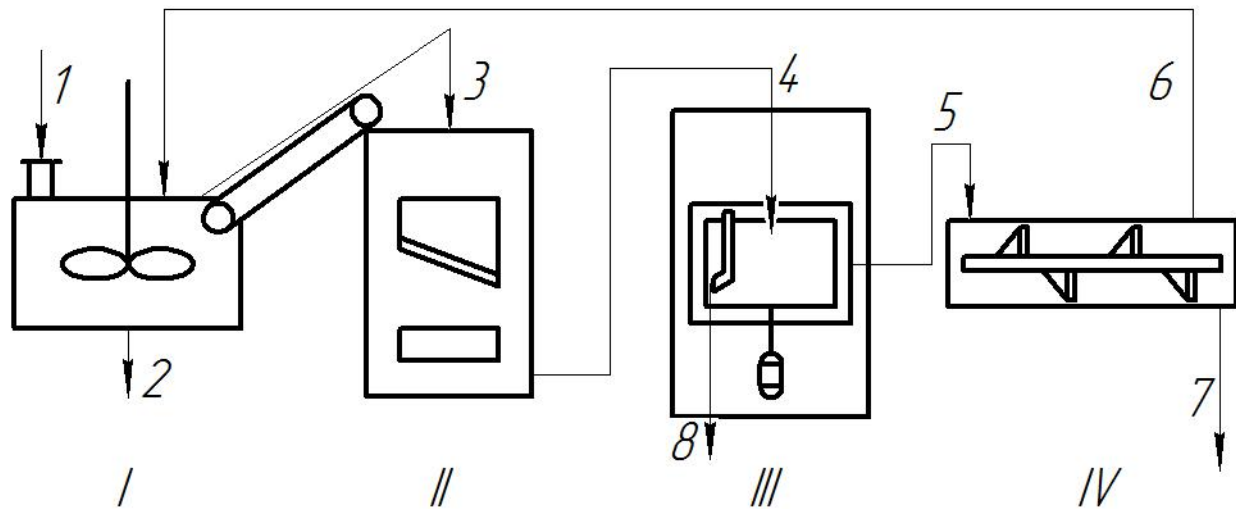


Рис. 3. Машино-апаратна схема модулю переробки

Обладнання: I – блок мийки плодів, II – блок фрагментації плодів,

III – блок сепарування, IV – блок термовакуумного сушіння

Потоки: 1 – плоди, 2 – брудна вода, 3 – чисті плоди, 4 – шматочки плодів,

5 – плодове пюре, 6 – вода з пюре, 7 – сухий агломерат, 8 – макуха

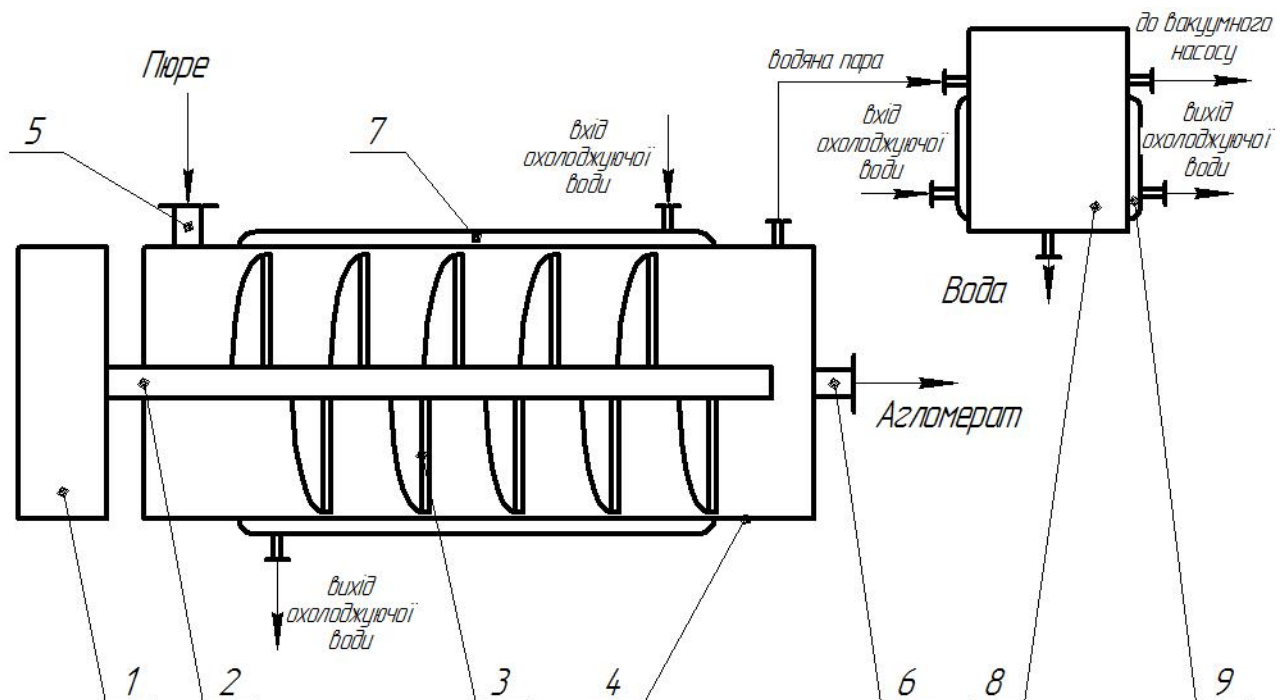
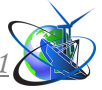


Рис. 4. Машино-апаратна схема блоку термовакuumного сушіння, де:

1 – привід; 2 – вал; 3 – шнек; 4 – корпус; 5 – вхідний штуцер; 6 – вихідний штуцер; 7 – термопорожнина; 8 – збірник пари; 9 - холодильник

Пари води збирають у збірник (8), де вони конденсуються, що забезпечує холодильник (9). У збірнику є штуцер для приєднання до вакуумного насосу.



Здобута вода може бути повністю або частково направлена у темопорожнину (7), що дозволяє, залежно від обставин, підвищувати чи знижувати температуру корпусу обладнання переробки, або на обладнання блоку мийки плодів (І). Вивільнена вода, вміст якої залежно від плоду може складати навіть 90 % маси, дозволяє уникнути потреби залучення води ззовні, що не тільки робить мобільний комплекс автономним, а й суттєво економить водні ресурси.

Сухий агломерат ще не є кінцевим/товарним продуктом, але вже є основою до отримання безконсервантного порошкоподібного матеріалу з майже первинним вмістом харчової цінності. Відновлені соки, морси, нектари, смузічи інших корисних харчових напоїв та стравиздатні зберігати смакові, кольорові та жуйні властивості плодів. Порошок сухих плодів, залежно від залучених при пакуванні матеріалів та конструкційного-технологічного виконання упаковки, майже без суттєвих втрат харчової цінності можливо компактно зберігати роками [8], забезпечуючи корисним речовинами у зимово-весняний період та надаючи стратегічні запаси при поганих врожаях або техногенних катастрофах.

Заклучення та висновки

Наведений вище проект мобільного аграрно-харчового технологічного комплексу базується на послідовному розташування кількох технологічних модулів, головним із яких, безумовно, є модуль переробки плодів фруктово-овочевої сировини у сухий агломерат. Саме обладнання модулю переробки надає змогу забезпечувати мийним розчином попередній модуль миття, уникаючи потребу у зовнішній воді, та залишок вологи в межах не більше 10 % маси у сухому агломераті, спрощує обладнання наступного модулю пакування.

Література

1. Концепція «ЗРУЧНА ЇЖА», це значно більше, ніж спрощення технології повсякденного харчування / О.П.Науменко, М.О.Науменко / Економічний вісник ДНБЗ УДХТУ. - 2018 - № 1(7) - С.132-138.
2. Робот збирач яблук тестують в Новій Зеландії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kas32.com/ua/post/view?id=457>.
3. Розробники Кремнієвої долини тестують робота-збирача яблук [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.agro-center.com.ua/agri-machinery/rozrobniki-kremniievoi-dolini-testujut-robota-zbiracha-jabluk.html>.
4. Мобільні комбікормові заводи / І. Календрузь, Л.Філоненко / Аграрна техніка. – 2009 - №2(7) – С.46-48.
5. Механізація збирання фруктів / А.Погорілий, А. Мігальов, В. Сидоренко / Аграрна техніка. – 2017 - №4(41) – С.54-63.
6. Mobile agrarian-food technological complex of processing of fruit-vegetable raw materials for concept of "CONVENIENT FOOD" / О.Р. Naumenko / Економічний вісник ДНБЗ УДХТУ. - 2020 - № 1(11) - С.32-38.
7. Науменко О.П., Ковальов С.В., Чуприна Н.М. Безконсервантне «переробка-транспортування-зберігання» фруктово-овочевої сировини за концепцією «Зручна їжа». Unconservative "recycling – transporting – storage" for fruit and vegetable raw materials with the conception "Easy food". Almanahul SWorld. Бельцы. 2020. №4. С. 23-25. DOI: 10.30888/2663-5720.2020-04-01-020

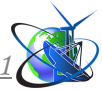


8. Антипов С.Т. Получение фруктово-ягодных порошков сушкой с предварительным увариванием и комбинированным энергоподводом / С.Т. Антипов, А.А. Жашков // Вестник ВГТУ. - 2009. - № 10. - С. 10-13.

Abstract. *The article is devoted to the development of the concept of the processing module, which is part of the mobile complex for processing vegetables and fruits. The introduction to the work analyzes the main problems facing agricultural producers. In the main part the conceptual scheme of the mobile agro-food technological complex which will allow to process fruits into powder for production of juices, nectars, etc. is offered. The scheme of the processing module is offered and its basic blocks are considered.*

Keywords: *transport, equipment, agrarian production, food production, powder, fruit and vegetable raw materials.*

Стаття відправлена: 11.06.2020 р.
©Науменко О.П.



УДК 678.057.3:678.073-026.772-047.58

**SIMULATION OF THE PROCESS OF SCREW EXTRUDER FEEDING
WITH GRANULAR POLYMERIC RAW MATERIAL****МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЖИВЛЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЕКСТРУДЕРА
ГРАНУЛЬОВАНОЮ ПОЛІМЕРНОЮ СИРОВИНОЮ****Vytvytskyi V.M. / Витвицький В.М.**
graduate student/ аспірант

ORCID: 0000-0003-0184-3838

Mikulionok I.O. / Мікульонюк І.О.
d.t.s., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0001-8268-7229

Sokolskyi O.L. / Сокольський О.Л.
s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7929-3576

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Peremohy ave, 37, 03056**Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, просп. Перемоги, 37, 03056*

Abstract. A significant increase in the production of polymeric materials requires the creation of high-performance, resource- and energy-efficient equipment for their processing, while one of the most used for processing polymers are screw machines, including screw extruders that process granular polymers. The material in the feed zone of the screw extruder is a bulk medium in the form of individual solid granules, however, most work on the study of screw extrusion is based on a physical model in which the motion of the polymer granules is considered as the motion of a solid body that does not correspond to reality and reduces the reliability of numerical studies of real processes taking place in technological equipment. This paper presents the results of calculations of the process of screw extruder feeding with granular polymeric raw material using an improved calculation method. The method is improved by introducing the values of the friction and of the lateral pressure coefficients obtained by the authors in the form of the functions of pressure, temperature, rotation speed of a screw and the number of granules along the height of the working channel. The use of advanced techniques made it possible to obtain results that show better agreement with the results of the real experiment, with the maximum difference between the calculation results obtained using the improved calculation method and the results of the real experiment is almost twice less than in the case of the basic calculation method.

Key words: extruder, polymer, granule, friction coefficient, lateral pressure coefficient, modelling.

Introduction.

A significant increase in the production of polymeric materials requires the creation of high-performance, resource- and energy-efficient equipment for their processing, the most efficient and versatile of which is extrusion equipment, including screw extruders [1, 2].

The efficiency of screw extruders is largely determined by the processes in the feeding and melting zones. The magnitude and ratio of friction forces acting in these areas at the boundary of contact of the material with the cylinder and the screw determine the design of the screw and the cylinder, the pressure and temperature of processing, productivity and power consumption [3].

The material in the feed zone of the screw extruder is a bulk medium in the form



of individual solid granules, which can move one after another, slip, deform, etc., which affects the movement of the material relative to the working bodies of the extruder. Many theoretical works are based on a physical model, which assumes that in the case of movement of polymer granules along the channel of the screw, the compacted particles do not shift relative to each other, because the friction forces of polymer against polymer far exceed the friction forces of polymer on steel and move as a continuous elastic compressible plug (solid medium) due to the corresponding ratio of dry friction forces of the polymer against the cylinder wall and the screw [4]. Such a physical model does not correspond to reality and reduces the reliability of numerical studies of real processes taking place in technological equipment.

It follows from the above that it is necessary to improve the existing models of bulk medium motion in the feed zone of the screw extruder in such a way as to be able to study the motion of individual granules and increase the reliability of studies of real processes in process equipment.

Materials and methods.

One of the methods to solve this problem is to indirectly take into account the inconsistency of polymer granules during their movement by introducing into the mathematical model the values of friction coefficients and lateral pressure coefficients in the form of functional dependences on pressure, temperature, screw speed and number of granules, which determined experimentally.

The authors have previously conducted appropriate experimental research, some of which have been published in [5, 6], which allow to take into account the discontinuous of the polymer by improving the existing calculation method. The method of conducting experimental research is given in [7].

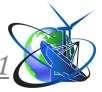
As a result of taking into account the obtained experimental dependences, the feed process of the screw extruder is considered taking into account the incompleteness of the polymer, which is better consistent with the real process and allows to more accurately take into account the parameters of the friction mode of the material when calculating the extrusion process.

Results and discussion.

This paper presents the results of calculations of the process of screw extruder feeding granular polymeric raw material with the following main parameters: screw diameter $D = 63$ mm, channel width $S = D$, channel depth in the supply zone $H = 6$ mm, rotational speed of a screw $n = 100$ rpm, set capacity $G = 100$ kg/h, recycled material is a high density polyethylene [8]. The friction and lateral pressure coefficients, respectively, when calculated by the basic method [4] were set $f_s = 0.4$, the ratio $f_s/f_c = 1.15$, $f_{l.p.} = 1$; when calculated by the advanced method $f_s/f_c = 1.15$, and f_c and $f_{l.p.}$ in the form of the following functional dependencies:

$$f_q = 0,471 + 0,019n - 0,002t - 0,004p + 0,004h + 0,009nt - 0,006np + 0,006nH - \\ - 0,001tp + 0,001tH - 0,471pH - 0,004ntp + 0,004ntH - 0,019npH + \\ + 0,002tpH - 0,009ntpH;$$

$$f_q = 0,326 - 0,006n + 0,009t + 0,019p - 0,019H - 0,004nt + 0,006np - 0,006nH - \\ - 0,012tp + 0,012tH - 0,326pH + 0,003ntp - 0,003ntH + 0,006npH - \\ - 0,009tpH + 0,004ntpH,$$



where t is the temperature of the screw, °C; p is the pressure on the polymer, MPa.

In fig. 1–6 show the dependences of the pressure at the outlet of the feeding zone, the power of the drive and the average temperature of the polymer depending on the speed of the auger or the ratio of friction coefficients for basic and improved calculation method. Numerical calculations are performed by the method of step approximation, where the step is one screw's turn, and within its limits the pressure is considered constant.

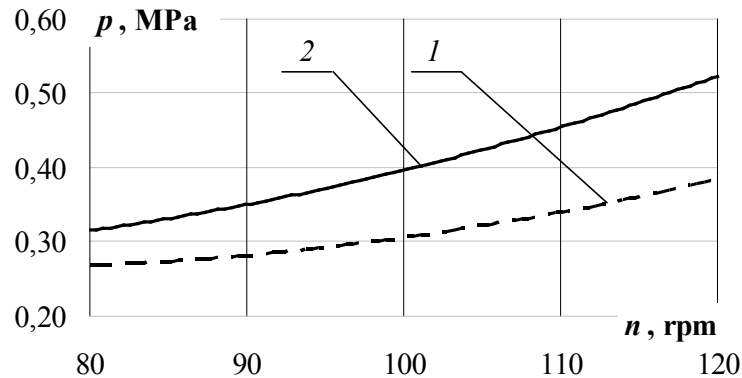


Fig. 1. The dependence of the pressure at the outlet of the feeding zone on the rotation speed of a screw at the ratio $f_s/f_c = 1.15$: 1 – basic calculation method; 2 – improved calculation method

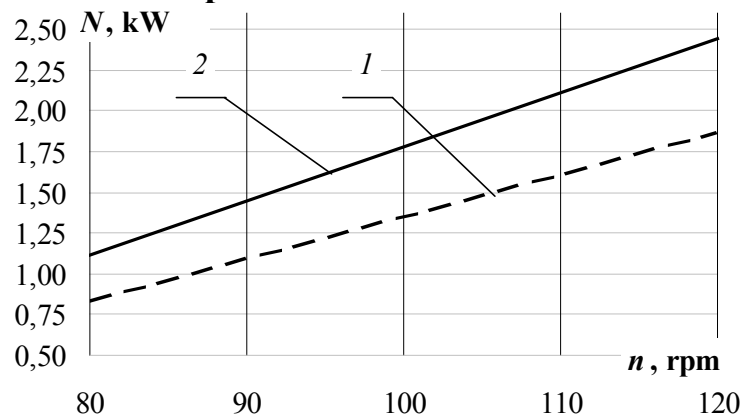


Fig. 2. The dependence of the drive power on the rotation speed of a screw at the ratio $f_s/f_c = 1.15$: 1 – basic calculation method; 2 – improved calculation method

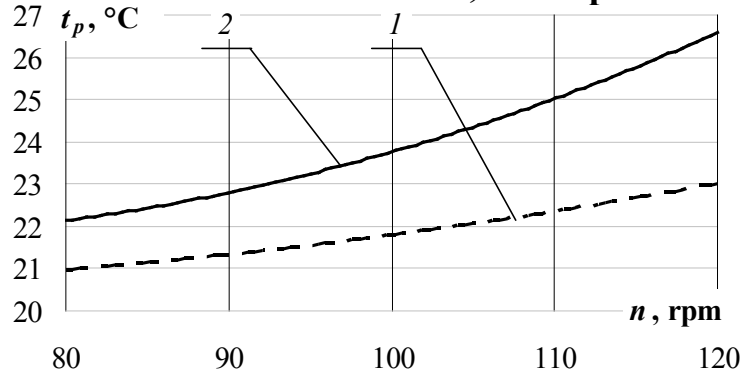


Fig. 3. The dependence of the average temperature of the polymer on the rotation speed of a screw at the ratio $f_s/f_c = 1.15$: 1 – basic calculation method; 2 – improved calculation method

Author's developments

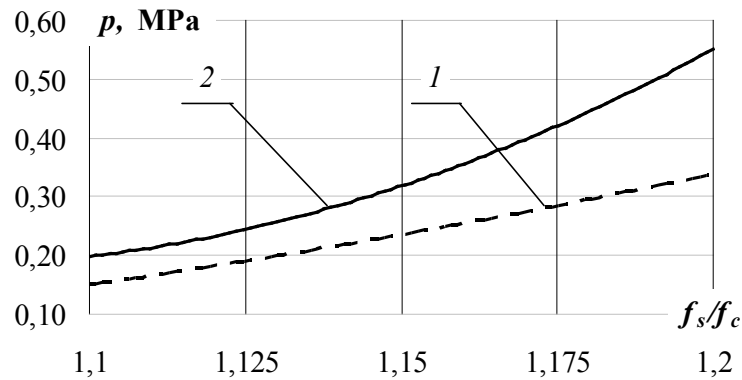
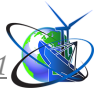


Fig. 4. The dependence of the pressure at the outlet of the feeding zone on the ratio of friction coefficients at the $n = 100$ rpm: 1 – basic calculation method; 2 – improved calculation method

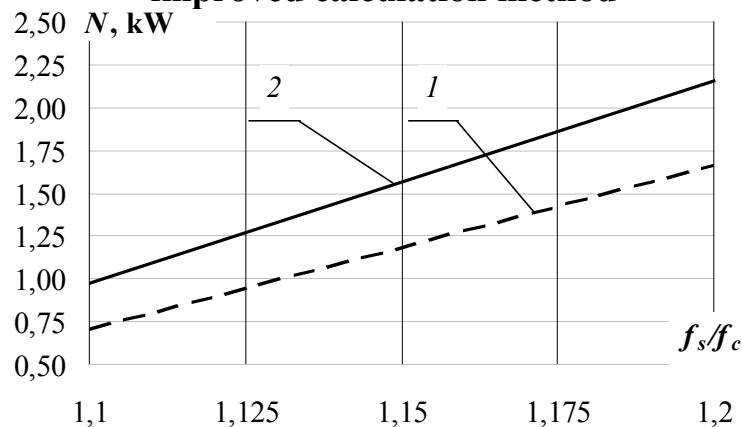


Fig. 5. The dependence of the drive power on the ratio of friction coefficients at the $n = 100$ rpm: 1 – basic calculation method; 2 – improved calculation method

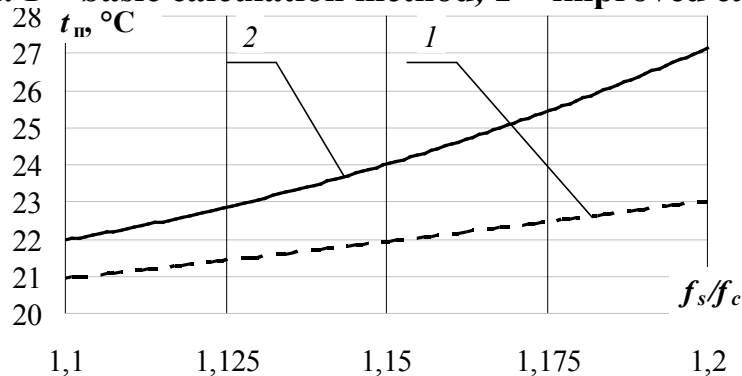


Fig. 6. The dependence of the average temperature on the ratio of friction coefficients at the $n = 100$ rpm: 1 – basic calculation method; 2 – improved calculation method

Author's developments

From shown dependences in fig. 1–6 the general increase in experimental values at use of the improved calculation method is appreciable, thus for values of pressure (see fig. 1, 4) the difference makes 14... 60 %, for values of power of the drive (see fig. 2, 5) – 23 ... 36 %, for the values of the average temperature of the polymer (see fig. 3, 6) – 3 16%. We can see that the increase in the difference occurs with increasing the rotational speed of a screw or the ratio of friction coefficients.

Obviously, the increase in values in the case of using the improved calculation method is due to the simultaneous influence on the value of the friction coefficient of



such structural and technological parameters of the power supply process of the screw extruder as pressure, temperature and rotational speed of a screw.

To verify the developed calculation method, were performed the calculations of the screw extruder feed process with granular polymer raw materials on the example of high-density polyethylene [8] with the initial data of the available experimental studies of the authors [9] and compared the results obtained with basic and improved calculation methods (Fig. 7).

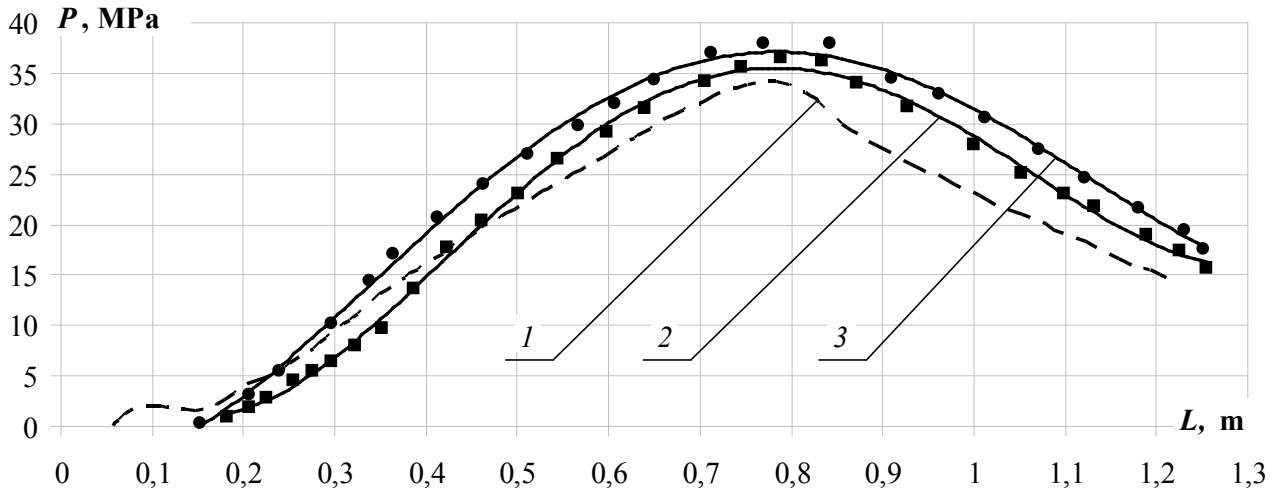


Fig. 7. Pressure distribution along the length of the extruder: 1 – real experimental data; 2 – improved calculation method; 3 – basic calculation method

Author's development

From fig. 7 it is seen that the improved calculation method gives the pressure values along the length of the extruder closer to the experimental values than the basic method, almost the entire length. In this case, in comparison with the experimental data, the maximum discrepancy of the values obtained when calculating using the basic method is 32 %, when using the advanced method is 18 % (for a length interval $L = 1$ m).

Conclusions.

The method of calculating the process of feeding a screw extruder with granular polymeric raw materials has been improved. To take into account the inconsistency of the polymer while the screw extruder feeding, the calculation method was improved by introducing previously obtained values of friction and lateral pressure coefficients in the form of previously obtained functional dependences on pressure, temperature, rotation speed of a screw and number of pellets on the height of the working channel.

The use of the improved calculation method allowed to obtain results that show better agreement with the results of the real experiment, with the maximum difference between the calculation results obtained using the improved calculation method and the results of the real experiment is almost twice less than the basic calculation method.

The obtained results make it possible to take into account the mutual influence of physical and mechanical properties of the processed polymeric material (including

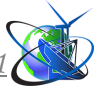


friction and lateral pressure coefficients) and parameters of the screw extruder feeding zone, and therefore in the case of development and modernization of extrusion equipment for processing of a certain polymeric material to determine the rational values of design and technological parameters of the screw extruder as a whole.

References:

1. Rauwendaal C. (2014), *Polymer extrusion*, 5th ed., Munich: Carl Hanser Verlag, 934 p, DOI:10.3139/9781569905395.
2. Mikulionok, I. (2009), *Obladnannia i protsesy pererobky termoplastychnykh materialiv z vykorystanniam vtorynnoi syrovyny* [Processing Equipment and Processes of the Thermoplastic Materials Using Recycled Materials], NTUU KPI, Kyiv, 264 p.
3. Mikulionok, I. (2017), *Tekhnolohichni osnovy pereroblennia polimernykh materialiv* [Technological Fundamentals of the Polymeric Materials Processing], Politehnika, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, 324 p.
4. Mikulionok, I. and Radchenko, L. (2012), *Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder*, Russian Journal of Applied Chemistry, 85(3). pp. 505-514, DOI: 10.1134/S1070427211030317.
5. Vytvytskyi, V., Mikulionok, I. and Sokolskyi, O. (2019), Experimental study of the granular polystyrene frictional, *SWorldJournal*, 2, part 2, pp. 16-21.
6. Vytvytskyi, V., Mikulionok, I. and Sokolskyi, O. (2019), Eksperymentalni doslidzhennia fryktsiinykh vlastyvostei hranulovanoho spivpolimer etylenu z vinilatsetatom (sevilenu), *Efektivni protsesy ta obladnannia khimichnykh vyrobnytstv ta pakuvalnoi tekhniky* : zbir. dop. X Vseukr. nauk.-prakt. konf, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, pp. 69-71.
7. Vytvytskyi, V., Bardashevskyi, S., Sokolskyi, O. and Mikulionok, I. (2018), Research of the tribotechnical properties of the friction granular polymeric materials, *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V.I. Vernadskoho*, 29(68), pp. 9-13.
8. Marlex HHM 5502BN Polyethylene – Chevron Phillips Chemical (2017), available at: <http://www.cpchem.com/bl/polyethylene/en-us/tdslibrary/Marlex%20HHM%205502BN%20Polyethylene.pdf> (accessed 5 September 2017).
9. Wilczyński, K. (1996), Computer Model for Single-Screw Plasticating Extrusion, *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 35, pp. 449–477, DOI:10.1080/03602559608000931.

Анотація. Суттєве збільшення виробництва полімерних матеріалів потребує створення високопродуктивного, ресурсо- та енергоефективного обладнання для їх перероблення, при цьому одними з найбільш використовуваних для перероблення полімерів є шинкові машини, у тому числі черв'ячні екструдери, що оброблюють гранульовані полімери. Матеріал у зоні живлення черв'ячного екструдера є сипким середовищем у вигляді окремих твердих гранул, однак більшість праць з дослідження черв'ячної екструзії ґрунтується на фізичній моделі, у якій рух гранул полімеру розглядається як рух суцільного твердого тіла, що не відповідає дійсності та знижує достовірність числових досліджень реальних



процесів, що проходять у технологічному обладнанні. У статті наведено результати розрахунків із використанням вдосконаленої методики розрахунку процесу живлення черв'ячного екструдера гранульованою полімерною сировиною. Методика вдосконалена шляхом введення отриманих авторами значень коефіцієнтів тертя та бічного тиску у вигляді функцій від тиску, температури, швидкості обертання шнека та кількості гранул по висоті робочого каналу. Використання вдосконаленої методики дало змогу отримати результати, що показують кращу збіжність з результатами натурного експерименту, при цьому максимальна різниця між результатами розрахунку, що отримані при використанні вдосконаленої методики та результатами натурного експерименту майже удвічі менша, ніж у разі застосування базової методики.

Ключові слова: екструдер, полімер, гранула, коефіцієнт тертя, коефіцієнт бічного тиску, моделювання.

Стаття відправлена: 14.06.2020 р.

© Витвицький В. М., Мікульонок І. О., Сокольський О. Л.



УДК 664.061.4:084

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF AN EXPLOSION CAUSED BY
ELECTROHYDRAULIC DISCHARGE IN A COMPRESSED LIQUID**
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИБУХУ, ВИКЛИКАНОГО ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ
РОЗРЯДОМ В СТИСКУВАНІЙ РІДИНІ**

Zaporozhets Y.V. / Запорожець Ю.В.*s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-2356-2148

Burlaka T.V. / Бурлака Т.В.*s.t.s. / к.т.н., ст..викладач*

ORCID: 0000-0002-2877-7386

*National University of Food Technologies, Kyiv, Vladimirskaya, 68, 01601**Національний університет харчових технологій, м. Київ, вул. Володимирська 68, 01601*

Анотація. В роботі досліджується вплив електрогідроудару та його вплив на подальше вилучення цільових компонентів з хмельової сировини. Доведена та обґрунтована можливість та ефективність сумісної дії низькочастотних механічних коливань та попереднього електроіскрового оброблення на інтенсифікацію процесу вилучення цільових компонентів з хмельової сировини.

Ключові слова: електрогідроудар, хміль, екстрагування, вибух, розряд, гідравлічні імпульси.

Вступ.

Процес екстрагування відноситься до масообмінних процесів і протікає за рахунок дифузії із зони з високою концентрацією в зону з низькою концентрацією до досягнення стану, коли швидкості переходу цільової речовини з рослинної сировини в екстрагент і навпаки є рівними.

Вивчення існуючих способів екстрагування та його апаратурного оформлення свідчить про їх низьку ефективність при переробці рослинної сировини з високим ступенем подрібнення. Низька ефективність більшості існуючих технологій екстрагування цільових компонентів із рослинної сировини характеризується недосконалістю екстракційної апаратури, оскільки дрібно фракційна сировина, або виготовлена із неї маса не має достатньої пористості для протитечійного безперервного екстрагування, погано транспортується і ущільнюється. При цьому значна частина поверхні контакту фаз піддається ефекту екранування та втрачає свою активність в процесі масопередачі.

У зв'язку з необхідністю удосконалення та інтенсифікації процесу масоперенесення при екстрагуванні виникає питання про створення таких активних режимів взаємодії між рослинною сировиною та екстрагентом, які забезпечували б високу продуктивність та масообмін.

Особливої уваги потребує більш детальне дослідження використання електроіскрового оброблення сировини перед віброекстрагуванням.

Мета роботи. Метою роботи є теоретичне і експериментальне дослідження процесу віброекстрагування цільових компонентів із хмелю та створення високоефективного обладнання безперервної дії для отримання хмельових екстрактів.



Матеріали і методи. Матеріали для огляду – публікації вітчизняних і зарубіжних авторів, патенти та результати власних експериментальних досліджень із розроблення ефективних способів екстрагування рослинної сировини.

Результати і обговорення.

Фізична суть електрогідроудару полягає в утворенні ударної хвилі в рідині при виникненні в ній спеціально сформованого імпульсного високовольтного електричного розряду. При цьому в зоні, що оточує канал розряду, розвивається високий імпульсний тиск, який проявляється у формі вибухового механічного впливу на середовище, що знаходиться поблизу каналу.

При електричному розряді в рідині відбуватися перетворення енергії розряду в механічну роботу, в енергію руху середовища.

Висока концентрація енергії розряду і короткочасність її виділення зумовлюють можливість розгляду явищ, що відбуваються в рідині, з позиції фізики вибуху.

Процес енерговиділення при електророзрядах у воді супроводжується такими ж гідромеханічними явищами, які виникають під час вибуху зарядів хімічного або при фокусуванні потужного моноімпульсного випромінювання оптичного квантового генератора.

Характерним для всіх вибухів є утворення і розширення кавітаційної порожнини, досягнення нею максимального розміру, схлопування і подальші пульсації парогазового пухирця. При цьому від поверхні порожнини відходять ударні хвилі, тиск яких поблизу вибуху досягає декількох тисяч атмосфер.

Гідравлічні імпульси, що виникають в результаті розряду в рідині, складаються з двох важливих факторів: основного — гідравлічного удару і допоміжного — кавітаційного. Чим коротший імпульс, чим крутіший його фронт і вище амплітуда, тим коротший і сильніший гідравлічний удар.

Динаміка радіального розширення каналу визначається з одного боку струмом розряду, а з іншого боку залежить від розвитку гідродинамічного ударно-хвильового процесу в рідкому середовищі, що оточує розряд.

Однією з причин відмирання мікроорганізмів може бути пошкодження клітини, її структур і як наслідок термічного або механічного ефектів.

При оцінці механічного ефекту вважаємо мікроорганізми сферами діаметром d та скористаємося умовою дроблення сферичних крапель рідиною густиною ρ_0 (визначається значенням числа Вебера в ударних хвилях внаслідок розвитку нестійкості Кельвіна-Гельмгольца при обтіканні рідиною густиною ρ :

$$\Delta P > \rho^{\frac{1}{2}} c \left(\frac{2\pi\sigma}{d} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{2}},$$

де σ — сила поверхневого натягу на межі поділу.

Товщина фронту визначається значенням густини перед і за фронтом, котрі зв'язані між собою співвідношенням на розриві:

$$8 = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(d\rho/dx)_{\max}}$$



Із збільшенням границі тиску товщина фронту зменшується в межах $\delta \approx (60 \div 4) nm$.

Оскільки при $\Delta P \geq 50 \text{ МПа}$ товщина фронту значно менше характерного розміру мікроорганізму ($\sim 1 \div 100 \mu m$) при оцінці вказаних ефектів використані гідростатичний та гідродинамічний підходи. Нагрів мікроорганізмів в результаті проходження ударної хвилі можна оцінити за формулою:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-\Gamma_0},$$

де зміна питомого об'єму визначається з рівнянь Тейна; коефіцієнт Грюнайзена — $\Gamma_0 = \frac{\beta}{\rho k_m c_V}$, тут k_m — ізотермічний коефіцієнт стискання; β — об'ємний коефіцієнт температурного розширення; c_V — питома теплоємність; ρ — густина.

Для води $\Gamma_0 = 108,85$; для органічної рідини $\Gamma_0 = 952,40$.

Товщина клітинної стінки мікроорганізму, що має полімерну структуру, $\Delta = 10 - 25 nm$. Оскільки напруження розриву для рідини σ_p зв'язане з поверхневим натягом наближеним співвідношенням $\sigma_p = \frac{2\sigma}{r_0}$, то формулу можна застосувати в розглядуваному випадку, якщо формально замінити величину σ на $\sigma^* = \frac{\sigma_1 \Delta}{r_0}$ або $\sigma^* = \sigma_p \Delta$, де σ_1 та σ_p — поверхневий натяг та міцність на розрив матеріалу клітинної стінки. Типові значення σ_p для полімерів $\sim 20 \text{ МПа}$ отримуємо:

$$\Delta P > (0,6 - 1,35) \cdot 10^2 \text{ МПа}.$$

Ця величина може служити орієнтиром при практичній реалізації умовної деструкції мікроорганізмів при одноразовій дії розряду.

Один імпульсний розряд виключає, принаймні, два гідравлічних удари: перший — в момент утворення порожнини, другий — при її закриванні. При визначаючих умовах (висота стовпа рідини, тиску, розмір порожнини та ін.) газова порожнина здійснює декілька пульсацій, що являється логічним наслідком розриву суцільності рідини і адіабатичного її стиснення.

Форма порожнини на стадії досягнення нею кінцевого розміру близька до сферичної. Однак початкова стадія розвитку каверни не характеризується сферично симетричним рухом. Каверна витягнута вздовж осі розряду. Такий характер початкової стадії розвитку каверни відповідає вибуху циліндричного заряду кінцевої довжини.

Вимірювання, проведені при виконанні серії експериментів, дають наступні характеристики пульсацій каверни: максимальний діаметр каверни при першій, другій та третій пульсаціях складає 6,3; 2,9; 1,6 мм. Періоди послідовних пульсацій є рівними $T_1 = 590 \text{ мкс}$, $T_2 = 240 \text{ мкс}$, $T_3 = 130 \text{ мкс}$.

Потенціальна енергія, накопичена бульбашкою при його розширенні до максимального розміру:



$$E_r = \frac{4}{3} \pi r_m^3 P_0,$$

де r_m — максимальний радіус порожнини; P_0 — гідростатичний тиск в середовищі.

Відомо, що відношення енергії E_k , накопиченої в бульбашці k -й пульсації до енергії E_{k+1} бульбашки $k+1$ -й пульсації підкоряється співвідношенню:

$$\eta_k = \frac{E_k}{E_{k+1}} \eta_{k+1} = \left(\frac{T_k}{T_{k+1}} \right)^3 \eta_{k+1}$$

Звідси можна отримати, співвідношення між коефіцієнтами втрат енергії $\eta_2 = 0,07\eta_1$, $\eta_3 = 0,016\eta_2$. Але основною причиною інтервальної втрати енергії при наступних пульсаціях порожнини служить випромінювання порівняно потужних хвиль стиску при її схлопуванні.

Результати і висновки. Встановлено, що при перепаді тиску >50 МПа товщина фронту набагато менше характерного розміру мікроорганізмів, що дозволяє розглядати останні як макрооб'єкти.

При одноразовій дії розряду зниження концентрації мікроорганізмів до потрібних санітарних норм (менше $10^3 \frac{1}{d_m^3}$) реалізується при перепаді тиску на фронті ударної хвилі не менше 50 МПа.

Література:

1. Зав'ялов В. Л. Дослідження дифузійних властивостей листової чайної сировини / В. Л. Зав'ялов, Н. В. Попова // Наукові праці ВДАУ. — Вінниця, 2006. — Вип. 1. — С. 14—19.
2. Popova N. Investigation of the extraction of flavoid compounds from high mountain Herbage / N. Popova, V. Zavialov, V. Bodrov, T. Misyura, Y. Zaporozhets // The second north and east European congress on food (May 26, 2013). — Kiev: NUFT, 2013. — P. 165.
3. Белоглазов И. Н. Твердофазные экстракторы / И. Н. Белоглазов. — Л.: «Химия». Ленинградское отделение, 1985. — 239 с.
4. Лобода П. П. Перспективи застосування універсальних просторово-часових співвідношень при інтенсифікації та масштабуванні технологічних процесів / П. П. Лобода // Наукові праці УДУХТ. — 1993. — № 1. — С. 60—64.
5. Зав'ялов В. Л. Дослідження кінетики процесу екстрагування з листової чайної сировини в апаратах періодичної дії із різними вібраційними системами перемішування / В. Л. Зав'ялов, Н. В. Попова // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. — 2007. — Вип. 58. — С. 102—112.

Abstract. The extraction process refers to mass transfer processes and proceeds by diffusion from a zone of high concentration to a zone of low concentration to reach a state where the rates of transition of the target substance from plant material to the extractant and vice versa are equal.

Due to the need to improve and intensify the process of mass transfer during extraction, the question arises about the creation of such active modes of interaction between vegetable raw



materials and extractant, which would ensure high productivity and mass transfer.

The physical essence of electric shock consists in the formation of a shock wave in a liquid when a specially formed pulsed high-voltage electric discharge occurs in it. In the area surrounding the discharge channel, a high impulse pressure develops, which manifests itself in the form of an explosive mechanical impact on the environment near the channel.

The process of energy release during electric discharges in water is accompanied by the same hydromechanical phenomena that occur during the explosion of chemical charges or when focusing powerful monopulse radiation of an optical quantum generator.

Hydraulic impulses arising from the discharge in the liquid consist of two important factors: the main - hydraulic shock and auxiliary - cavitation. The shorter the pulse, the steeper its front and the higher the amplitude, the shorter and stronger the hydraulic shock.

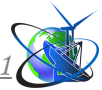
It is established that with a pressure drop > 50 MPa, the thickness of the front is much smaller than the characteristic size of microorganisms, which allows us to consider the latter as macro-objects.

With a single action of the discharge, the reduction of the concentration of microorganisms to the required sanitary norms (less) is realized when the pressure drop at the front of the shock wave is not less than 50 MPa.

Key words: electrohydraulic shock, hops, extraction, explosion, discharge, hydraulic impulses.

Статья отправлена: 16.06.2020 г.

© Бурлака Т.В.



УДК 621.313

DIGITALLY CONTROLLED SPREADER
СПРЕДЕР З ЦИФРОВИМ УПРАВЛІННЯМ**Bondarenko N.O. / Бондаренко Н.О.***ORCID:/0000-0002-9237-8187***Bondarenko V.M./ Бондаренко В.М.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**ORCID: 0000-0003-1663-4799***Isupov V. A./ Ісупов В.А.***student /студент**National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, prosp. Peremogy, 37, 03056**Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського", Київ, просп. Перемоги, 37, 03056*

Анотація. В даній статті запропоновано підхід до розробки цифрового спредера для повітряного розпушування вуглецевих волокон. Наведено мету та завдання дослідження, принцип роботи, основні технічні рішення. Представлено загальні відомості про вуглецеве волокно, як конструкційний матеріал, його використання, основні проблеми та сучасний стан галузі. Основну увагу приділено цифровій електронній та ультразвуковій складовим спредера, завдяки яким досягнуті високі показники роботи. Також наведені схеми захисту «тонкої електроніки» від перепадів напруги та обмеження струму. Описані перспективні напрямки роботи в області створення обладнання для розпушування волокон.

Ключові слова: композити, вуглецеві волокна, спредер, кроковий двигун, рівінг.

Вступ

На даний момент композитні матеріали все більше використовуються в різних галузях промисловості, витісняючи собою такі звичні матеріали як метал, пластик, гума, тканина. Одним із найпоширеніших і найперспективніших композитів є вуглепластик (карбон - вуглецева тканина, просочена полімером, яка прийняла твердий стан).

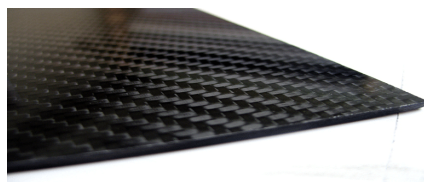


Рис. 1. Класичний вуглепластик

Такий матеріал (рис.1) має високі конструкційні властивості (близькі або кращі за сталь) при відносно невеликій масі, і завдяки цьому він широко використовується в аерокосмічній, автомобільній, суднобудівній промисловості, а також у виробництві обладнання для спорту.

Серед сучасних трендів в цьому напрямку можна виділити такий різновид даного матеріалу як розпушена буксирна вуглецева тканина (рис.2), (*англ. Spread tow carbon fabric*), далі спред [1].

Унікальність спреду полягає в гранично низькій щільності (до 16 г/м²) при високих конструкційних властивостях, які порівнюються з властивостями класичного карбону, щільністю в 2-3 рази більшою.



Рис. 2. Схематичне зображення волокна до і після розпушування (спреду)

Основою технологічного процесу виробництва такого типу тканин є процес повітряного розпушування волокна, оскільки саме завдяки цьому можна отримати низьку щільність готового виробу. Фактично, процес полягає у збільшенні ширини карбонового ровінгу від 2-7 мм до 30-100 мм, в залежності від сорту волокна та кінцевих характеристик тканини.

Ця технологія ще не дуже поширена, в якомусь аспекті вона унікальна, тим не менш існують автоматизовані установки, які в тій чи іншій мірі могли би задовольняти вимоги, наведені нижче.



Рис. 3. Автоматичний спредер вуглецевого волокна *North Thin Ply Technologies*

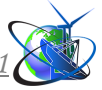
Оскільки деякі з них дають дуже великий відсоток мікро пошкоджень на волокні, інші не дають потрібної ширини спреда (до 100 мм) або недостатньо гнучкі для використання з різними типами волокон, то більшість таких установок (рис.3) заточені під певні вузькі задачі і не підходять для створення нетканих надлегких тканин шляхом розпушування волокна. Основною проблемою є дуже велика закритість цієї технології, відповідно придбати таку установку або дуже складно, або дуже дорого, при тому, що це не вирішить проблему повністю [2].

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є проектування і створення зразку автоматизованого цифрового спредера для повітряного розпушування вуглецевого волокна на базі напрацювань та результатів експериментів, отриманих на першому прототипі спредера, створеному для отримання базових знань щодо принципу роботи технології.

Основні вимоги до автоматизованого цифрового спредера:

- цифрова система управління;



- розробка алгоритму автоматизації;
- прецензійне виконання механіки;
- гнучкість для використання з різними типами волокон.

Основна частина

Центральним вузлом спредера є мікроконтролер *ATmega328P* [3], який керує механікою, приймаючи інформацію від датчиків, аналізуючи її, та, відповідно до запрограмованого алгоритму, міняє той чи інший параметр роботи установки.

За своєю структурою спредер віддалено нагадує ЧПУ верстат, основними приводними пристроями якого є крокові двигуни. Він є напіваавтоматичним, а це означає, що деякі параметри контролює мікроконтролер, але існує потреба постійної присутності оператора, який відслідковує зміни в структурі волокна та вносить необхідні корективи. Запропонований підхід обумовлений тим, що доступне волокно не є спеціально призначеним для розпушування, оскільки структура первісного волокна недостатньо однорідна по всій довжині ровінгу.

Підвищення автоматизації досягається встановленням оптичного датчика контролю якості вихідного волокна та розробкою алгоритму, який дозволяє динамічно міняти параметри роботи спредера, залежно від якості ровінгу.

Для синхронного вмикання/вимикання високовольтних блоків спредера використані реле типу *SRD-05VDC-SL-C AC 250V 10A* з управляючою напругою 5В та струмом 15-20 мА.

Параметри, що контролює мікроконтролер:

- натяг волокна;
- температура підігріву;
- температура окремих спредерів;
- аварійні ситуації (заплутування, обрив, накручування на вал);
- параметри «розчісування» волокна;
- швидкість протягування ровінгу.

Мікроконтролер та електронні пристрої системи

Для вибору мікроконтролера обрані наступні важливі параметри:

- наявність АЦП, ЦАП;
- наявність 7 й більше цифрових / аналогових каналів;
- легкість програмування та простота використання;
- надійність;
- ціна.

Arduino на базі *ATmega328P* повністю задовольняє вищезазначені потреби. До того ж, ця платформа дуже поширена, чим обумовлена велика кількість і доступність датчиків, плат розширення, модулів, бібліотек та фреймворків.

В якості центрального вузла спредера, також розглядалися мікроконтролери *STM32* [4] та *Raspberry Pi* [5]. Перший варіант не підійшов, оскільки він потребує додаткового програматора, а також модулів розширення плат, які значно менше доступні в Україні. Другий варіант розглядався як перспективне рішення, оскільки на момент створення спредера потужність *Raspberry Pi* виявилась надлишковою для нашого проекту, ціна високою, і працювати з *Raspberry Pi*, в цілому, складніше.



Таблиця 1

Основні характеристики мікроконтролера *ATmega328P*

Мікроконтролер	<i>ATmega328P</i>
Робоча напруга	5 В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12 В
Напруга живлення (гранична)	6-20 В
Цифрові входи / виходи	14 (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виведення	40 мА
Максимальний вихідний струм виводу 3.3 В	50 мА
Flash-пам'ять	32 кБ, з яких 0.5 кБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 кБ
EEPROM	1 кБ
Тактова частота	16 МГц

Arduino Nano використовується з платою розширення *Nano CNC Shield v4.0*, розрахованою на підтримку до трьох крокових двигунів, та включає в себе роз'єм живлення, порти під драйвери та виводи під крокові двигуни, дубльовані аналогові та цифрові порти *Arduino*.

У якості приводу протяжного механізму використовуються 4 крокових двигуни *Nema-23* та один *Nema-17*. Для двигунів використані драйвери *BL-TB6560 V2.0 3.5A* (рис. 4), які можуть в повному об'ємі забезпечити реалізацію характеристик “кроковиків” (обертаючий момент, кількість кроків в секунду).

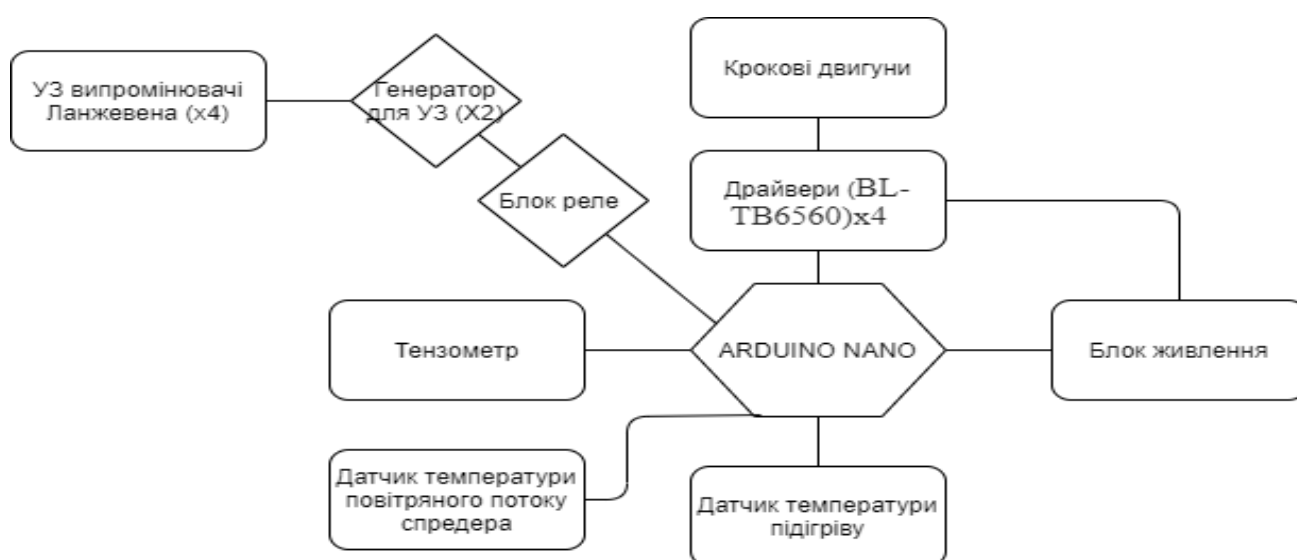


Рис. 4. Структура електронної частини спредера

В ході реалізації проекту виникла проблема недостатньої кількості



цифрових виходів *Arduino* для підключення драйверів. Оскільки 2 двигуни працюють паралельно, з однаковою швидкістю, то прийнято рішення виділити 1 сигнальний вихід для двох драйверів. Це не призвело до виникнення ніяких конфліктів всередині системи.

Датчики

В якості термодатчиків вибрані *Dallas DS18B20*, оскільки вони мають потрібний діапазон виміру температур (до +125 °С) та похибку ± 0.5 °С. Датчики необхідні для запуску спредера “на холодну” (після включення), по мірі його прогрівання, мікроконтролер підвищує швидкість протяжки ровінгу.

Тензометри довелося виготовляти самостійно, оскільки фабричних моделей, які би задовольняли вимоги, не існує. В основу тензометра ліг оптичний перетворювач кутових переміщень (енкодер).

Ультразвукова частина спредера

Окремим блоком системи можна вважати ультразвуковий випромінювач Ланжевена [6], оскільки він ніяк не зв'язаний з компонентами системи і призначений тільки для синхронного вмикання/вимикання. Даний випромінювач попередньо розпушує волокно перед тим, як воно потрапляє до основної частини спредера.

Для розрахунку щільності готової тканини використовується формула:

$$D = (1 + k) * \frac{t \cdot n}{d},$$

де: D – щільність готової тканини, г/м²;

k – коефіцієнт, який відображає відсотковий вміст зв'язуючої речовини у готовій тканині (1%=0.01);

t – маса 1 м ровінгу, г/м (830 *tex* = 0.83 г/м);

n – кількість шарів готової тканини;

d – ширина ровінгу.

На (рис.5) наведена залежність щільності готової тканини від кінцевої ширини ровінгу, за таких умов:

- ровінг *Tenax®-E IMS65 E23, 830 tex*;
- вміст зв'язуючої речовини в готовій тканині 10% ($k = 0.1$);
- 2 шари волокна (+45°; -45°).

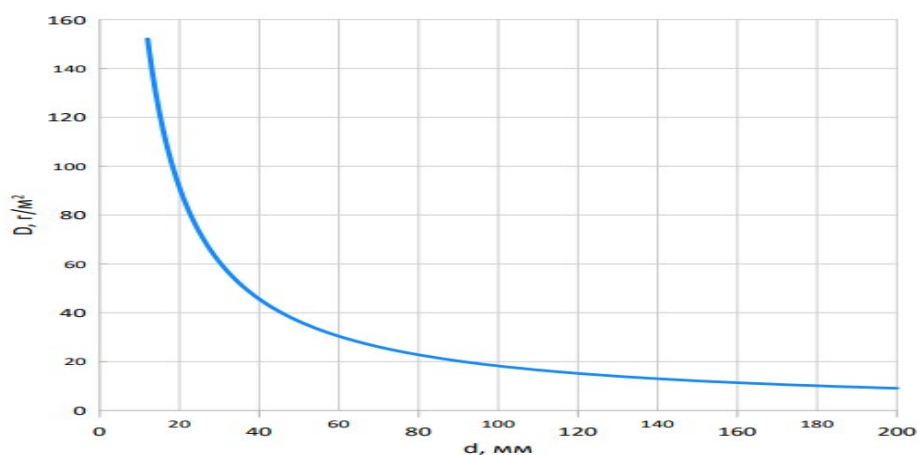
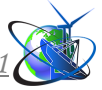


Рис. 5. Графік залежності щільності готової тканини від ширини ровінгу



В ході експериментів виявилось, що ультразвук впливає на якість вихідного ровінгу. Суть застосування ультразвуку полягає в тому, що коливання, які створює випромінювач, значно знижують тертя між ровінгом та частинами спредеру, що, в свою чергу, зменшує у 2-2.5 рази кількість мікро пошкоджень волокна та значно спрощує деякі етапи розпушування.

В спредері використані чотири випромінювачі, три з яких механічно під'єднанні до спредера (повітряні сопла № 1-3), оскільки саме на цих вузлах виникає найбільша кількість мікро пошкоджень внаслідок тертя між повітряними соплами та ровінгом. Один випромінювач працює з окремим соплом, яке дозволяє первинно розширити ровінг з 7 мм до 20-25 мм (в залежності від якості ровінгу). Даний прийом дозволяє з більшою ефективністю працювати з ровінгами, волокна в яких є заплутаними через недосконалість технологічних процесів на заводі-виробнику.

Експериментальним шляхом підібрані частота та потужність ультразвукових випромінювачів (рис.6), а саме: вибраний випромінювач Ланжевена з наступними характеристиками:

- частота резонансу: 28 кГц;
- потужність: 60 Вт;
- статична ємність: $5000 \pm 10\%$ пФ;
- імпеданс в резонансі: ≤ 20 Ом;
- опір ізоляції (при 2500 В постійного струму): ≥ 100 МОм ;
- діаметр п'єзоелементів: 38 мм;
- довжина хвильоводу: 37 мм;
- загальна довжина: 68 мм.



Рис. 6. Ультразвуковий випромінювач Ланжевена

Для ультразвукових випромінювачів обраний фабричний генератор (рис.7) з наступними характеристиками:

- вихідна потужність: 100 Вт;
- вихідна частота: 28 кГц;
- вихідна напруга: 300-800 В;
- напруга живлення: 220 В змінного струму.

Захист електронних частин спредеру від перепадів напруги

Вуглецеве волокно виявилось непоганим провідником, провідність якого близька до деяких металів, таких як ніхром. В процесі роботи спредеру волокно може ламатися, що призводить до появи у повітрі аерозолі з одиничних волокон товщиною близько 5 мкм та довжиною від 0.1 мм до 20-30 мм. Такі одиничні волокна вимагають використання як засобів індивідуального захисту, так і засобів захисту електроніки, адже вся система живиться від мережі, а волокна створюють один великий провідний мат.

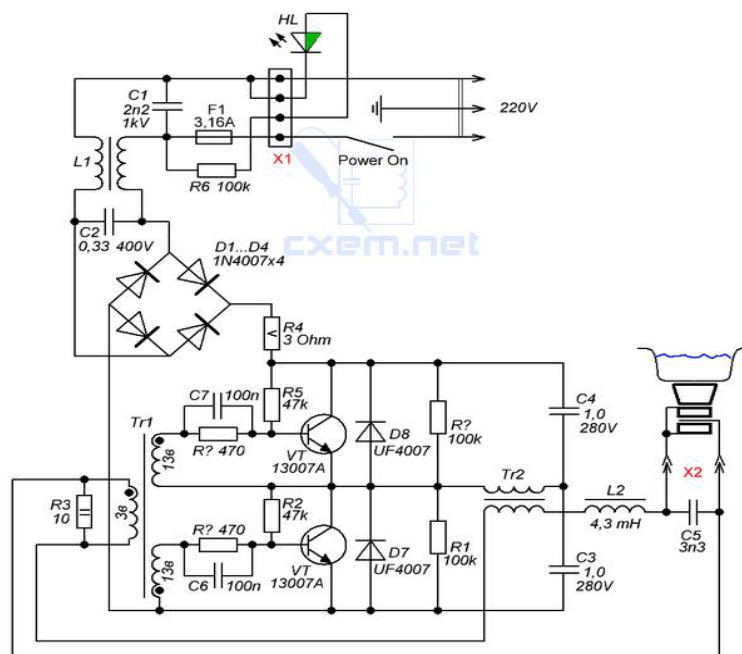


Рис. 7. Схема генератора для ультразвукового випромінювача

Тому, металеву раму установки та блоки живлення (AC-DC 220-24 В) заземлено. Всі компоненти блоку управління спредера фізично поміщені в герметичний бокс для недопущення потрапляння волокон на електричні компоненти. Для захисту «тонкої» електроніки (мікроконтролера, драйверів) використана проста схема однорівневого діодного обмежувача струму на вході плати живлення (рис.8) та буферна мікросхема захисту 74ACTH245 на входах/виходах мікроконтролера (рис. 9).

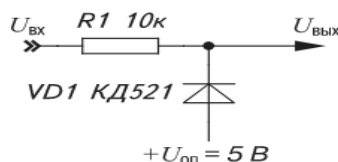


Рис. 8. Схема однорівневого діодного обмежувача струму

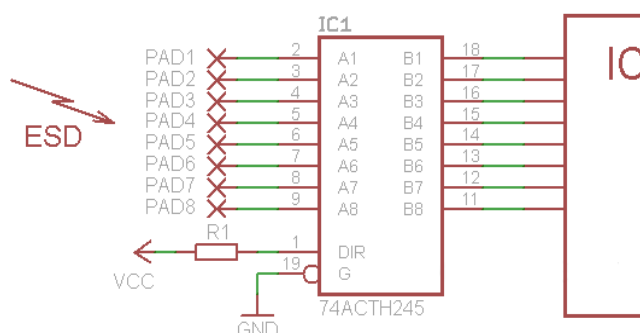


Рис. 9. Буферна мікросхема захисту 74ACTH245 від перепадів напруги

Мікросхема 74ACTH245 здатна захистити входи мікроконтролера від перепадів напруги до 2000 В.

Висновки

В статті наведено опис зразка спредера - установки повітряного



розпушування різних типів вуглецевого волокна для створення нетканих тканин.

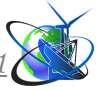
Завдяки активній роботі над технологією розпушування волокна, досягнуті конкурентні результати як за показниками якості, так і за показниками граничної щільності тканини. На даний момент це є технологія, яка лежить в основі бренду *Vuhlets*. Для досягнення високих характеристик спредер переведено з аналогового управління на цифрове, що дозволило з достатньою точністю керувати компонентами спредера, відслідковувати параметри роботи і підлаштовувати їх в автоматичному режимі (якщо це необхідно). Досягнутими характеристиками вихідного волокна є ширина (до 70 мм, в залежності від сорту волокна та вимог до щільності тканини), хороша рівномірність та відсоток пошкоджених волокон (у середньому від 6% до 8%). Ведеться розробка нового блоку управління на базі мікроконтролеру *Raspberry Pi*, оскільки можливості *Arduino Nano* (по об'єму пам'яті, потужності контролера, розрядності портів) практично використані. Це розширить поле можливостей для створення блоків, датчиків та алгоритмів, які дозволять звести участь людини у процесі повітряного розпушування до мінімуму.

Перспективним напрямком роботи є розробка системи розпушування волокон рідиною. Ця технологія може дати всього від 1% до 3% пошкоджених волокон у вихідному ровінгу.

Література

1. M. Hassan EL-Dessouky, Carl A. Lawrence. Ultra-lightweight carbon fibre/thermoplastic composite material using spread tow technology. — Advanced Composites Research Group, Centre for Technical Textiles, School of Design, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK b Physics Department, Faculty of Science, Mansoura University, Mansoura 35516, Egypt
2. D. Gizik, C. Metzner, C. Weimer and P. Middendorf. SPREADING OF HEAVY TOW CARBON FIBERS FOR THE USE IN AIRCRAFT STRUCTURES. — ECCM17 - 17th European Conference on Composite Materials Munich, Germany, 26-30th June 2016.
3. Atmel ATmega328/P [DATASHEET], June 2016. URL: <https://datasheet4u.com/datasheet-parts/ATmega328P-datasheet.php?id=1057332> [Accessed January 30, 2020].
4. "STM32F446xC/E", STMicroelectronics, October 2019. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f446re.pdf>. [Accessed January 30, 2020].
5. Official documentation for the Raspberry Pi <https://www.raspberrypi.org/documentation> [Accessed January 30, 2020].
6. Розенберг Л.Д. Физика и техника мощного ультразвука. Книга 1. Источники мощного ультразвука. Монография. — М.: Наука, 1967. — 379 с.

Abstract. This article proposes an approach to developing a digital spreader for carbon fiber aerial loosening. The purpose and tasks of the research, the principle of work, the main technical solutions are given. General information about carbon fiber as a structural material, its use, major problems and current state of the industry are presented. The focus is on the digital electronic and



ultrasonic components of the spreader, which let us to achieve high performance. Circuits of protection of "thin electronics" against voltage drops and current limitation are also given. The perspective directions of work in the field of creation of equipment for fiber loosening are described.

Keywords: *composites, carbon fiber, spreader, stepper motor, roving*

Науковий керівник: к.т.н., доц. Бондаренко В.М.

Стаття відправлена: 29.04.2020 р.



УДК 004.942:62-83

APPLICATION OF BOND GRAPH METHOD FOR STUDY OF DYNAMIC BEHAVIOR OF ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEXES**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ BOND GRAPH ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ****Kurliak P. O. / Курляк П.О.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8113-5211

*Ivano Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019*

Анотація. В статті обґрунтовано доцільність застосування методу Bond Graph для дослідження динамічної поведінки електротехнологічних комплексів, з метою проведення аналізу режимів роботи та подальшого прогнозування й керування процесами в реальному об'єкті за результатами таких досліджень.

Ключові слова: електротехнологічний комплекс, моделювання, енергетичний підхід, Bond Graph.

Вступ

Проблема ефективного функціонування електротехнологічних комплексів (ЕТК) складних технічних об'єктів особливо гостро постає в умовах сучасного стрімкого росту цін на енергоносії. Неоптимальні усталені та динамічні режими роботи ЕТК призводять до порушення технологічного процесу, аварійних виходів їх з ладу і, як наслідок, до невиконання планів випуску продукції та незапланованих фінансових витрат.

Відомо, що сучасні ЕТК складаються з підсистем різної фізичної природи (електричної, механічної, гідравлічної тощо), а для одержання достовірних результатів дослідження режимів роботи таких технічних об'єктів необхідно розглядати взаємовплив всіх складових елементів. На сьогоднішній день у світовій практиці досить рідко застосовують системний підхід для дослідження та моделювання складних технічних об'єктів. Традиційно складові пристрої моделюють окремо різними методами, тому процес дослідження динамічної поведінки всього об'єкту стає надто трудомістким. Крім того, на відміну від електромеханіки електричних машин, гідромеханіка лопатевих машин в основному базується на емпіричних стохастичних формулах, які не дають змоги встановити всі закономірності взаємозв'язаних фізичних процесів.

1. Аналіз методів дослідження складних електротехнічних комплексів

Швидкий розвиток обчислювальних машин сприяв розробці нових методів математичного моделювання і розрахунку стаціонарних та перехідних режимів роботи електротехнічних та електроенергетичних систем. Це дозволило повному підійти до багатьох питань проектування та експлуатації різного роду об'єктів.

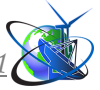
У загальному випадку процеси в складному об'єкті можуть бути описані аналітичними залежностями, основу яких складають системи нелінійних



алгебраїчних і диференціальних рівнянь. При цьому за наявності інформації про параметри системи і топологічні зв'язки між її елементами може бути побудована математична модель об'єкта, за допомогою якої виконується аналіз його поведінки в різних режимах роботи. Для дослідження динамічної поведінки ЕКТ існують декілька методів моделювання, основні з яких: метод багатополісників (Multipoles); метод блочних діаграм (Block Diagrams); метод об'єктних діаграм (Object Diagrams) та метод графів зв'язків (Bond Graphs). На відміну від інших методів, застосування Bond Graph призводить до візуалізації не тільки сигнальних, але й енергетичних потоків.

Метод Bond Graph, запропонований Пейнтером [1] та розроблений його учнями Кернопом і Розенбергом [2] і сьогодні розвивається бурхливими темпами. Широкого застосування даний метод зазнав протягом останніх років із розвитком новітніх засобів програмного забезпечення. Це пояснюється тим, що основна перевага методу Bond Graph, а саме автоматичне генерування та розв'язок рівнянь стану досліджуваної системи, досягається лише за умови застосування спеціалізованого програмного забезпечення. В даний час метод Bond Graph покладений в основу багатьох високорівневих продуктів автоматизованого комп'ютерного моделювання – САЕ. Перше таке програмне забезпечення ENPORT було розроблене професором Розенбергом на початку сімдесятих років XX-століття. Серед великої кількості сучасних САЕ-продуктів найбільш відомими є: EASY5, Camp-G, Dymola, Modelica, TutSim, CAMBAS, 20-sim, ARCHER, SYMBOLS 2000, PASION 32, BondLab, Java Applet for BGs, HybrSim, Bond graph tool box for Mathematica, MS1, MTT, тощо.

Основними виробниками цих продуктів є провідні світові компанії - лідери в своїх галузях промисловості. Так наприклад фірма BOEING, виробник EASY5, широко використовує його для створення та моделювання режимів складних надсучасних літальних апаратів. Національне агентство США з авіації і дослідження космічного простору NASA застосовує програмне забезпечення Camp-G (виробник Cadsim Engineering) для моделювання аерокосмічних систем, зокрема гідро-механічних механізмів авіаційного гальмування та міжнародних орбітальних станцій (ISS). Європейська компанія Dynasim виробник Dymola, Modelica, застосовує дане програмне забезпечення для моделювання складних технологічних об'єктів робототехніки та транспортних засобів. Ще одна потужна європейська компанія ControlLab нідерландського університету Twente є виробником TutSim, CAMBAS та 20-sim. Дані САЕ-продукти протягом багатьох років успішно застосовуються для моделювання та проектування складних мехатронних систем в автомобільній промисловості, важкому машинобудуванні, робототехніці тощо. Для прикладу відомі автомобільні марки Rolls-Royce, Jaguar, Toyota, Mitsubishi, Ford при моделюванні та проектуванні своєї продукції широко застосовують програмне забезпечення 20-sim. І це далеко не повний перелік галузей застосування САЕ-продуктів. Існуючі програми Bond Graph моделювання також використовуються при проектуванні промислових автоматизованих приладів та побутової техніки. Серед споживачів продукту 20-sim є такі відомі компанії в цій галузі як ABB, PHILIPS, BOSCH.



Слід зазначити, що всі програмні продукти такого класу характеризуються достатньо високою вартістю, а вільно розповсюджені в мережі Інтернет демонстраційні версії на дають змоги зберігати створені моделі досліджуваних об'єктів та результати проведених експериментів. Однак автору вдалося налагодити співпрацю з компанією ControlLab та отримати ліцензовану версію програми 20-sim 3.6 07 Professional.

2. Основні поняття графо-енергетичного методу Bond Graph

Для дослідження динамічної поведінки складних технічних об'єктів методом Bond Graph застосовують графічні моделі у вигляді позначених і напрямлених графів, в яких вершини представляють собою підмоделі, а стріли символізують взаємодію між їхніми енергетичними портами. Такі сполучення називають енергетичними зв'язками (bonds) та зображають суцільною лінією. Енергетичний зв'язок виражає ідеальний потік енергії між двома сполученими підмоделями. Під енергетичним портом розуміють контактну точку підмоделі, яку з'єднують ідеальним зв'язком. Позитивний напрям потоку енергії між елементами системи та причинно-наслідкові зв'язки між енергетично-спряженими змінними позначають відповідно половиною стріли та перпендикулярним штрихом на кінці зв'язку.

Для математичного опису динамічної поведінки складних систем застосовують шість узагальнених фізичних змінних. Так енергетичний зв'язок між підмоделями представлений двостороннім потоком енергетично-спряжених змінних зусилля e та потоку f , їх добуток встановлює миттєву потужність P , яка відображає енергію E між портами. Також застосовують змінні інерції p та зміщення q , які відповідно визначають інтегруванням за часом змінної зусилля e та потоку f .

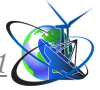
Кожна фізична підсистема досліджуваного об'єкта характеризується аналогічною поведінкою функції енергії, а саме: генерування, збереження, незворотне і зворотне перетворення та розповсюдження. Такі властивості енергії в методі Bond Graph відображають відповідно дев'ять стандартних елементів: два типи абстрактних джерел – зусилля Se і потоку Sf ; абстрактні ємність C , інерційність I та опір R ; трансформатор TF і гіратор GY , та вузли загального зусилля 0 і потоку 1 . В залежності від характеру елементів, їх енергетичні порти мають визначену причинно-наслідкову особливість.

3. Розроблення моделей електротехнічних комплексів методом Bond Graph

Процес розроблення моделей ЕТК методом Bond Graph полягає у встановленні структури об'єкту, виявленні основних енергетичних зв'язків між найпростішими складовими елементами системи, які відображають потік та перетворення енергії від джерела до споживача, з метою виконання корисної роботи.

На етапі моделювання ЕТК потрібно виконати наступні дії:

- провести аналіз взаємодії об'єкта з зовнішнім середовищем, виділити характеристики вхідних впливів та реакції об'єкту, класифікація їх на вимірні та невимірні, керуючі та перешкоди;



- провести декомпозицію та дослідження внутрішньої структури об'єкту, дослідити порядок функціонування об'єкту, виявити зв'язок між входом та виходом, сформулювати множини станів об'єкту;
- визначити міри впливу випадкових факторів на об'єкт та порядок нелінійних зв'язків між характеристиками об'єкту;
- провести дослідження динамічної поведінки ЕТК на моделі, та розробити подальше прогнозування й управління оригіналом за результатами цих досліджень.

Керуючись основними підходами та методологією Bond Graph автором розроблено модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, елементи якої відображають фізичну відповідність конструктивними елементами реальної машини, з врахуванням ефектів насичення магнітопроводу та витіснення струму в роторі. Проведено дослідження пускових режимів АД 4АЗМВ-2500/6000-У2 та порівняння результатів моделювання із результатами заводських випробувань [3].

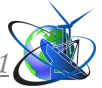
Також створено комплексну Bond Graph модель електроприводних відцентрових насосних агрегатів, за допомогою якої проведено дослідження пуску магістрального насосу NGK 500/450/100 з приводом 4АЗМВ-2500/6000-У2 нафтоперекачувальної станції "Плещівка" філії «Магістральні нафтопроводи «Дружба», адекватність одержаних результатів підтверджено шляхом порівняння із результатами експериментальних досліджень [4].

Проведено дослідження динамічних режимів електроприводних відцентрових насосних агрегатів для різних умов роботи запірної арматури магістрального нафтопроводу. Встановлено, що під час пуску насосного агрегату на відкриту напірну засувку пускові та усталені струми електродвигуна знаходяться в допустимих межах, зниження напруги на його затискачах не перевищує 15%, що є цілком допустимо для нормальної експлуатації обладнання, мережі і трансформаторів, а також покращуються гідравлічні показники роботи насосу [5].

Проведено аналіз енергоспоживання під час пуску електроприводних відцентрових насосних агрегатів з використанням софтстартера із різними законами регулювання напруги в порівнянні з прямим пуском. Використання комплексної Bond Graph моделі насосного агрегату в системах пристроїв плавного пуску дозволяє реалізувати більш раціональні алгоритми управління, які забезпечать вирішення питання підвищення рівня енергоефективності та ресурсозбереження обладнання магістральних нафтопроводів [6].

Запропоновано спосіб визначення несправностей на ранній стадії їх виникнення в електродвигунах на основі FFT-аналізу осцилограми струму статора одержаної за допомогою моделювання номінального режиму роботи, що дає змогу підвищити рівень ефективності їх функціонування та продовжити життєві цикли повних систем електротехнічних комплексів [7].

Розроблені автором моделі, на відміну від існуючих, дають можливість враховувати взаємовплив складових підсистем різної фізичної природи, ефекти насичення магнітопроводу і витіснення струму в роторі двигуна, та в'язкість рідини в насосі.



Висновки

В представлений роботі доведено, що для проведення аналізу, прогнозування та керування процесами, які виникають при малих та великих збуреннях ЕТК та дослідження таких режимів роботи, як правило, доцільно використовувати математичне та комп'ютерно-орієнтоване моделювання, оскільки проведення експериментальних досліджень не завжди є можливим. Одним з найефективніших методів для таких задач є уніфікований метод моделювання Bond Graph, який дає змогу досліджувати динамічну поведінку підсистем різної фізичної природи, використовуючи єдину систему понять та позначень. За допомогою встановлених причинно-наслідкових зв'язків даний метод забезпечує можливість комп'ютерного формування системних рівнянь, перевірку правильності синтезу моделей, та у графічній формі подає наглядний опис складних систем.

Література:

Paynter H. M. Analysis and Design of Engineering Systems // The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts. - 1961. - 303p

Rosenberg R.C., Karnopp D.C. Introduction to physical system dynamics // McGraw Hill, New York, NY. - 1983. - 176p.

Костишин В.С., Курляк П.О. Bond Graph модель асинхронного двигуна з врахуванням насичення магнітопроводу та ефекту витіснення струму в роторі [Текст] / Володимир Костишин, Петро Курляк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.– 2011.– №4(30). – С.32-37. – ISSN 1993–9965.

Костишин В.С., Курляк П.О. Дослідження динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів за допомогою їх комп'ютерно-орієнтованих Bond Graph моделей [Текст] / Володимир Костишин, Петро Курляк // Вісник Вінницького політехнічного інституту.–2012.– №2.– с.148-153. – ISSN 1997–9274.

Курляк П.О. Bond Graph моделювання електромеханічних перехідних процесів під час пуску насосних агрегатів магістральних нафтопроводів на відкриту засувку// Збірник матеріалів X міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів “Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації” м. Кременчук 28-29 березня 2012р.– С.132–133. – ISSN 2079–5106

Костишин В.С., Курляк П.О. Моделювання режимів роботи електроприводних магістральних насосних агрегатів із застосуванням автоматизованої системи плавного пуску [Текст] / Володимир Костишин, Петро Курляк // Наукові праці Донецького національного технічного університету.– 2013. –№1(14) . – С. 129-133. – ISSN 2074–2630

Курляк П.О. Діагностика несправностей в асинхронних двигунах насосних агрегатів на ранній стадії їх виникнення [Текст] / Петро Курляк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2014. – № 1 (16).– С. 119-123. – ISSN 2074–2630



Abstract. *The article substantiates the expediency of using the Bond Graph method to study the dynamic behavior of electrical systems, in order to analyze the modes of operation and further forecasting and control of processes in a real object based on the results of such studies.*

Key words: *electrotechnological complex, modeling, energy approach, Bond Graph.*

Стаття відправлена: 22.05.2020 г.

© Курляк П.О.



УДК 577.3:544.35:546.33

ELECTRODELESS STUDY OF LOW CONCENTRATIONS OF AQUEOUS NaCl SOLUTIONS**БЕЗЕЛЕКТРОДНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ NaCl НИЗЬКИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ****Hutsul O.V. / Гуцул О.В.***s.ph.-m.s., assistant / к.фіз.-мат.н., асистент*

ORCID: 0000-0003-0622-8084

*Higher State Educational Establishment of Ukraine «Bukovinian State Medical University»,
Chernivtsi, Theatralna sq. 2, 58002**ВДНЗУ “Буковинський державний медичний університет”,
Чернівці, пл. Театральна 2, 58002***Slobodyan V.Z. / Слободян В.З.***s.ph.-m.s., head of the laboratory / к.фіз.-мат.н., завідувач лабораторією*

ORCID: 0000-0002-5396-4765

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Kotsjubynskyi Str. 2, Chernivtsi 58012**Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича,
м. Чернівці, вул. Коцюбинського 2, 58012*

Abstract. *Electrodeless studies of aqueous solutions of electrolytes, depending on their concentration, have significant advantages over similar electrode studies, because there is no contact of the liquid with the surface of the electrodes. In this work, we investigate fluids placed in a cylinder made of a transparent dielectric material located in a uniform magnetic field of a solenoid tuned to the resonance of voltages with a frequency of $f = 4.8$ MHz. The quality factor of the formed oscillatory circuit was measured for different concentrations and volumes of liquid.*

Keywords: *electrodeless measurements, aqueous NaCl solutions, cylinder, eddy currents, quality factor, inductance, frequency dependences*

Introduction

Electrodeless studies of the electrical conductivity of liquids are relevant for various branches of science and production, in particular for technological processes using both chemically pure and chemically aggressive liquids [1]. Electrodeless studies of electrical conductivity and resistance of liquids at different frequencies [2-5] can be used in the study of colloidal solutions with uneven radial distribution of dispersing substances, especially in the case of identification of a small amount of test substance [6].

The main text

In this work, the object of the study is a liquid in the form of a cylinder made of a transparent dielectric material, which is located in a uniform magnetic field of the solenoid, tuned to the resonance of voltages with a frequency of 4.8 MHz. The quality factor of the formed oscillatory circuit was measured for different concentrations and volumes of liquid.

22 different concentrations were obtained sequentially, which were obtained by diluting 0.9% saline with distilled water. Knowing the frequency, inductance and quality factor of the oscillatory circuit, both with and without fluid, the introduced resistance of the fluid $dR = \omega L (1 / Q - 1 / Q_0)$ was calculated. Dependences of the introduced resistance dR on the mass concentration of $n\%$ NaCl for two different



volumes of liquid (Fig. 1). Dots and circles show the results of the experiment, and solid curves - the theoretically processed results.

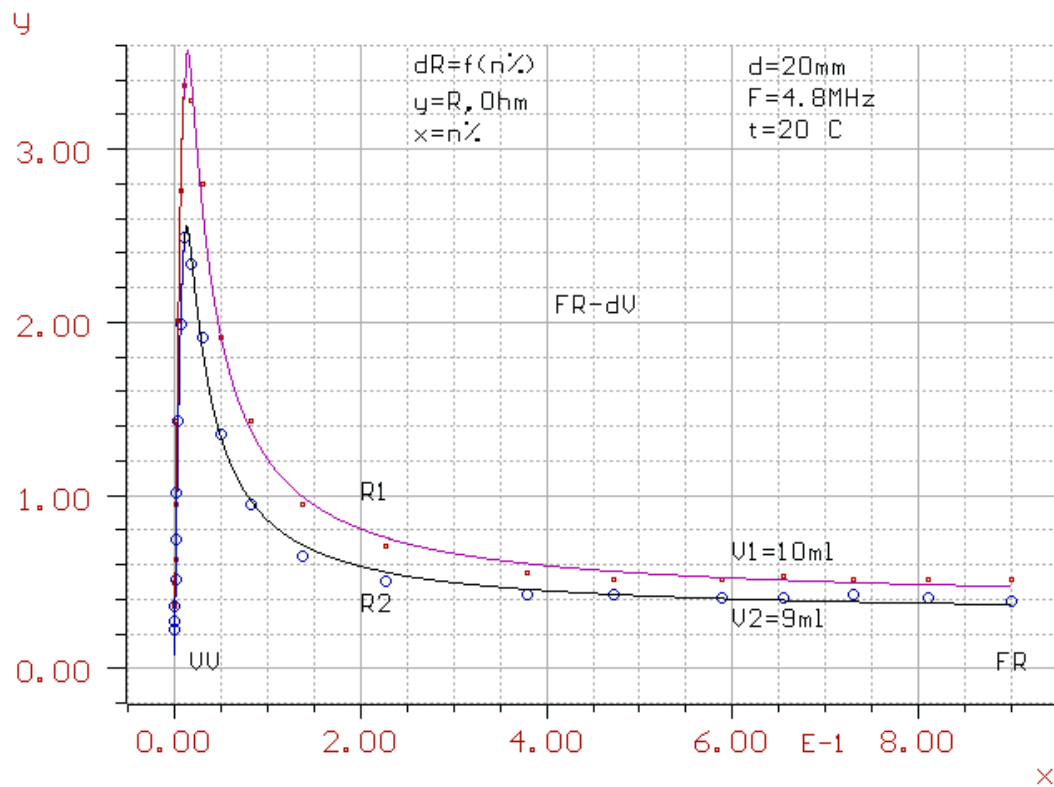


Fig. 1

For a more detailed consideration, the same dependences are given in semi-logarithmic and logarithmic scales (Fig. 2,3).

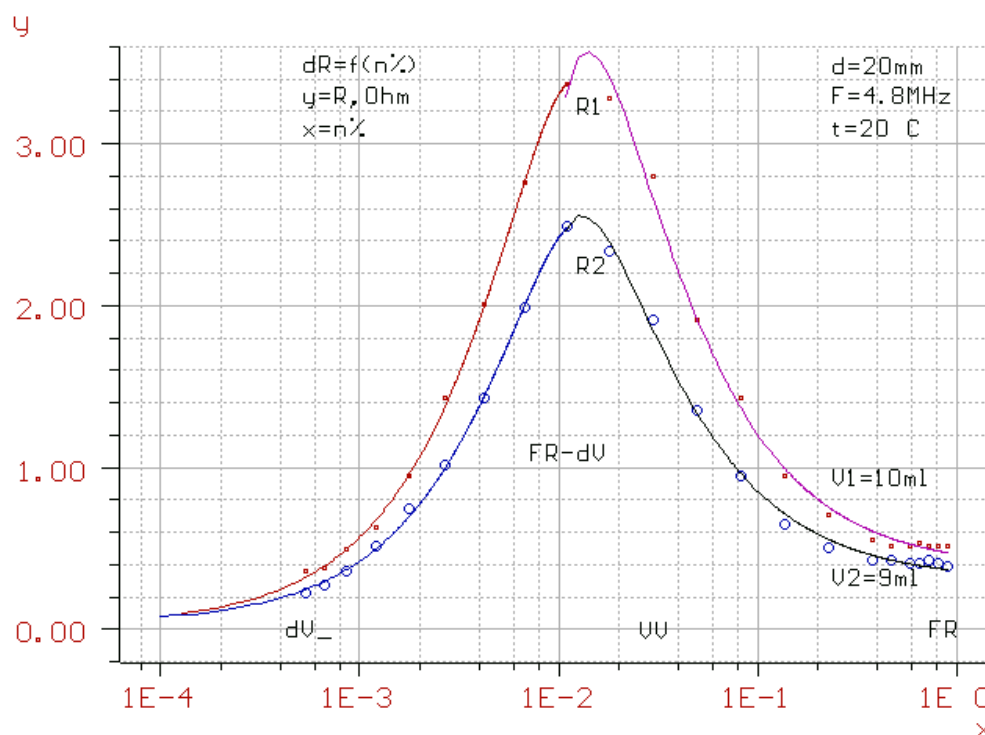


Fig. 2

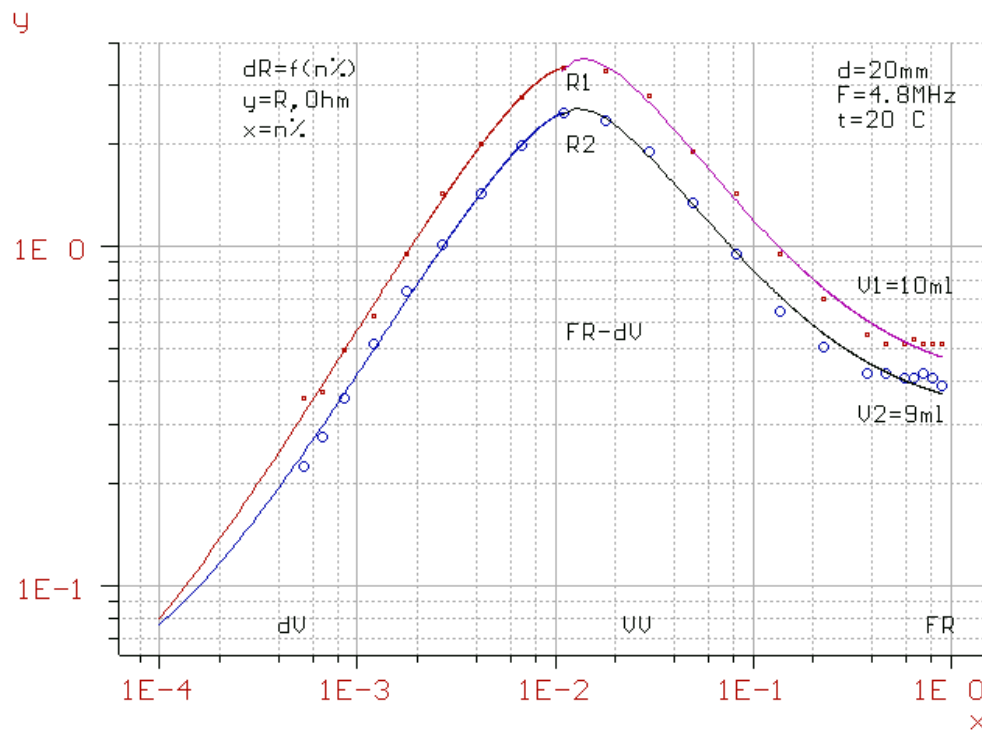


Fig. 3

As can be seen from Fig. 1-3, the concentration dependences have a maximum that does not depend on the volume of the liquid. Therefore, the same dependences were considered in more detail for the four volumes of fluid both before the maximum (Fig. 4) and after the maximum (Fig. 5, 6).

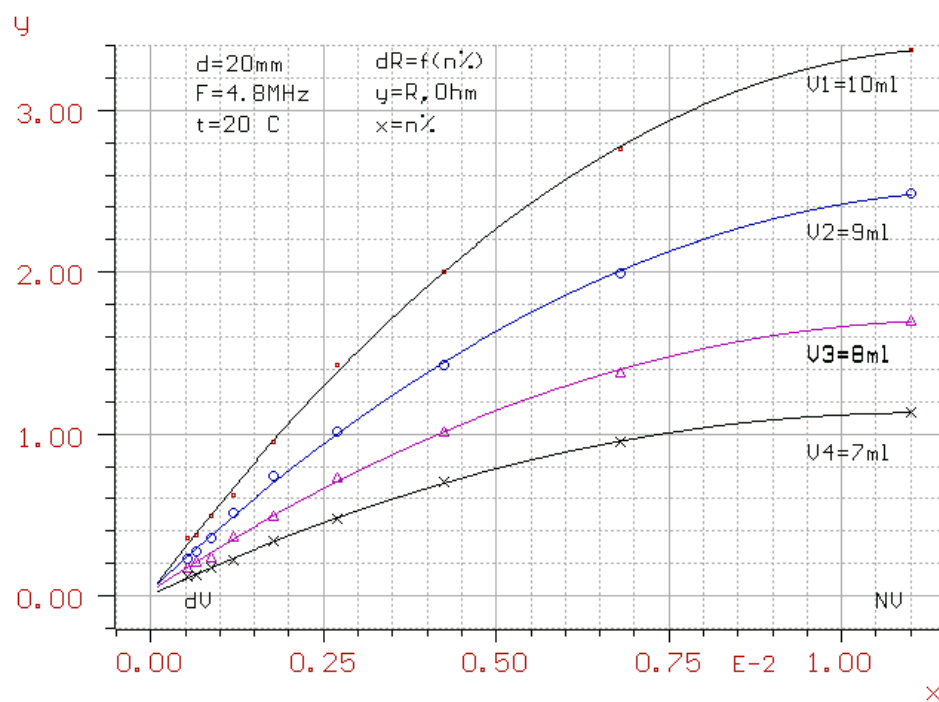


Fig. 4

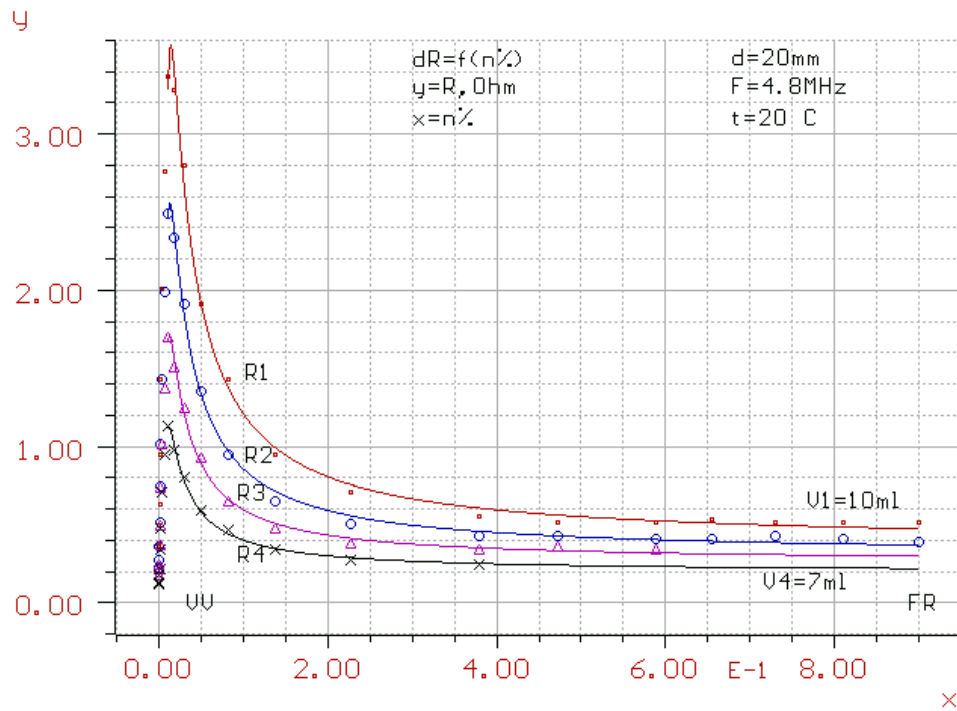


Fig. 5

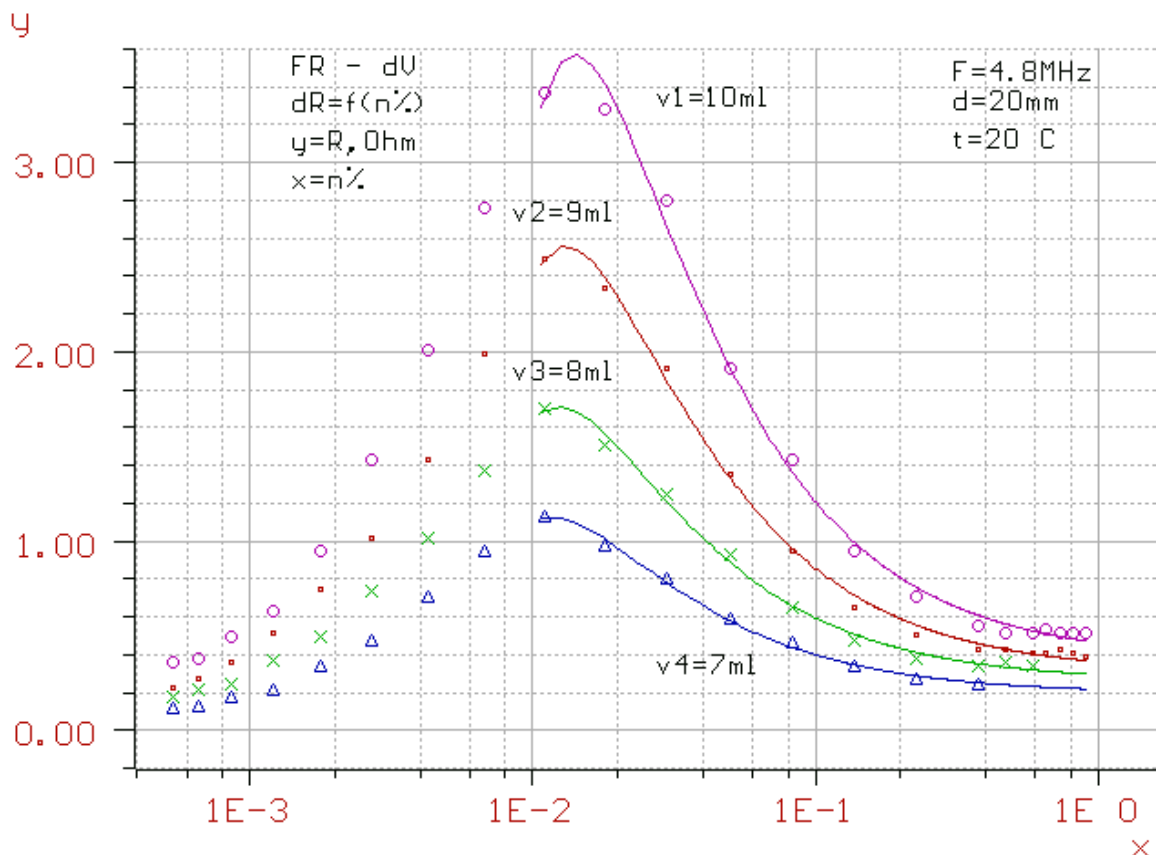


Fig. 6

Figures 4-6 show that due to the maximum, different concentrations can have the same value of the applied resistance or quality factor of the oscillatory circuit, but the accuracy of electrode-free concentration measurements increases significantly in each of these two ranges. To unambiguously determine the concentration of an



unknown liquid with a volume of 7-10 ml, it can be quantitatively diluted with distilled water.

The presence of a liquid-independent maximum is explained by an increase in the magnitude of the skin effect with an increase in electrical conductivity, which in our case is proportional to the liquid concentration, and the interaction of end eddy currents in the cylinder with the liquid [7]. The latter is confirmed by the dependences of the introduced resistance dR on the mass or volume of the fluid in the cylinder (Fig. 7, 8).

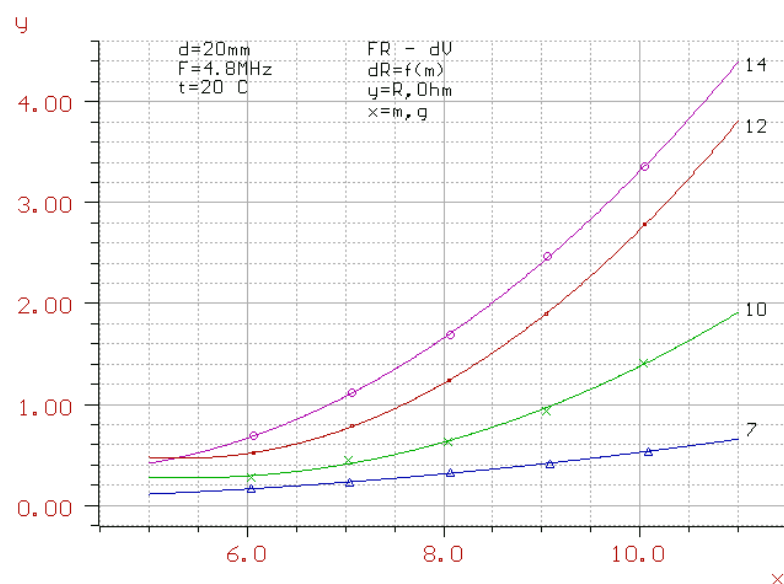


Fig. 7

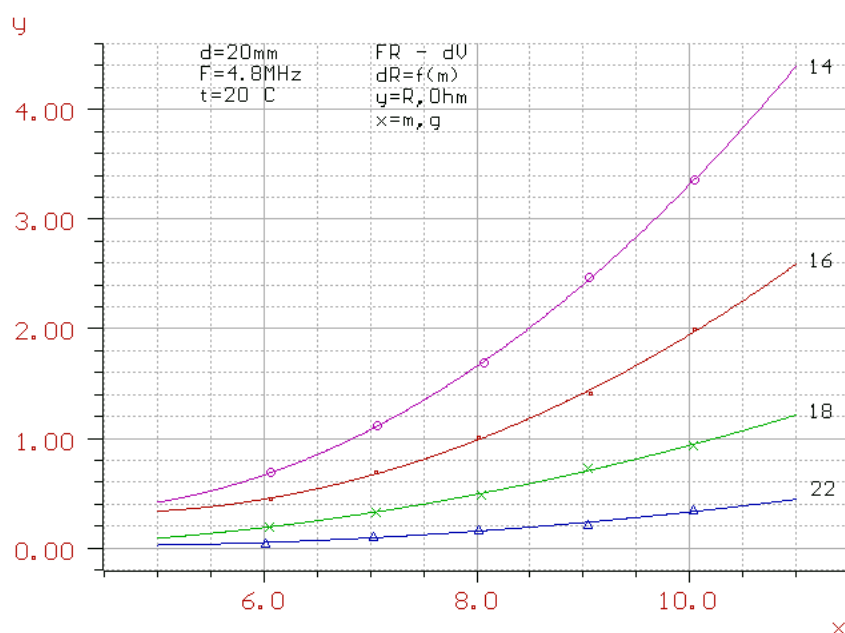


Fig. 8

Summary and Conclusions

Mass measurements of liquid concentrations in the range of 10-4-0.9% by electrodeless method were measured. There is a significant effect of the skin effect and the interaction of eddy currents in the cylinder filled with the studied fluid.



References:

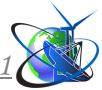
1. О.В. Гуцул, М. В. Шаплавский, В. З. Слободян. Особливості електрофізичних методів дослідження реологічних параметрів електролітів та біологічних рідин // *Вісник Запорізького національного університету. Серія: Фізико-математичні науки*. 2012, №1, с.84-91.
2. О.В. Гуцул, В. З. Слободян. Особливості дослідження параметрів рідин електродним та безелектродним методами // *Вісник Запорізького національного університету. Серія: Фізико-математичні науки*. 2013, №2, с.21-28.
3. Gutsul O.V., Slobodian V.Z. Skin-effect of fluid la capillaries // *Sworld Journal*. 2016, №11, vol.10. p.44-47.
4. Гуцул О.В., Слободян В.З. Особливості вихрових струмів в рідких електролітах. *SWorld-journal. Scientific papers SWorld*. 2018, 1(51), 23-28.
5. Гуцул О.В., Слободян В.З. Электродные и безэлектродные измерения жидких электролитов. *LAP Lambert Academic Publishing*. 2018, 68 pages.
6. Gutsul O.V., Slobodyan V.Z. Electrodeless investigation of conductivity of liquid in capillaries with due regard for skin effect. *Radioelectronics and Communications Systems*. 2019, 62(4), 173-180.
7. Гуцул О.В., Слободян В.З. Дослідження вихрових струмів у дисках різних металів. Матеріали на XV міжнародна научна практична конференція "Новини на научний прогрес-2019" (15-22 август 2019 г.), София "Бял ГРАД БГ", 2019, 3, 19-22.

Анотація. Безелектродні дослідження водних розчинів електролітів в залежності від їх концентрації мають значні переваги перед аналогічними електродними дослідженнями, оскільки відсутній контакт рідини з поверхнею електродів. У даній роботі досліджено рідини поміщені у циліндр, виготовленого із прозорого діелектричного матеріалу, що знаходиться в однорідному магнітному полі соленоїда, налаштованому на резонанс напруг частотою $f = 4,8$ МГц. Проведено вимірювання добротності утвореного коливального контуру для різних концентрацій та об'ємів рідини.

Ключові слова: безелектродні вимірювання, водні розчини NaCl, циліндр, вихрові струми, добротність, індуктивність, частотні залежності

Стаття направлена: 19.06.2020 р.

© Гуцул О.В., Слободян В.З.



УДК 536.62 : 66.099.2

**RESEARCH OF THE GAS HEAT-CARRYING AGENT FOR THE
THERMOCHEMICAL CONVERSION OF PLANT BIOMASS
ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ТЕПЛОНОСІЯ ДЛЯ
ТЕРМОХІМІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ**

Sklyarenko E.V. / Скляренко Є.В.

Ph.d. / к.т.н.

ORCID: 0000-0003-3952-6520

Vorobiov L.Y. / Воробйов Л.Й

d.s., s.s. / д.т.н., с.н.с.

ORCID: 0000-0001-7958-6996

SPIN: 6154-2069

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, M. Kapnist Str., 2a, Kyiv, 03057

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, вул. М. Капніст, 2а, 03057

Анотація. Запропонована установка шнекового типу, яка реалізує технологію термохімічної конверсії рослинної біомаси в горючий газ і біовуглець. Технологія основана на використанні піролізного процесу в затиснутому і рухомому шарі біомаси, при використанні газового теплоносія у вигляді високотемпературних продуктів неповного згоряння вуглеводневого газу. Приведені результати розрахункових і експериментальних досліджень основних режимних параметрів отримання газового теплоносія і його теплотехнічних характеристик

Ключові слова: біомаса, термохімічна конверсія, піроліз, газовий теплоносіє, шнековий реактор.

Вступ.

Завдання економії і підвищення ефективності використання паливних ресурсів, а також зменшення шкідливого впливу на довкілля від їх застосування сьогодні набуває найбільш пріоритетного значення для України.

Аналіз світового досвіду показує, що вирішення даної паливно-екологічної проблеми базується на удосконаленні існуючих технологічних процесів, впровадженні нових енергозберігаючих технологій і задіянні в паливному балансі нових альтернативних паливних джерел енергії, до яких Д. І. Менделєєв ще свого часу, відніс горючі матеріали які спалюються для виробництва теплоти.

Крім теплотехнічних характеристик, важливим фактором доцільності використання палив є ресурсо-економічні чинники, тобто наявність достатніх запасів, технічні і економічні показники їх добування, транспортування і використання.

Зважаючи на це, у багатьох країнах світу одним із дієвих шляхів вирішення паливно-екологічної проблеми є задіяння в паливно-енергетичному балансі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), серед яких чільне місце відводиться біомасі рослинного походження. Її щорічний приріст у світі оцінюється в 200 млрд.т в перерахунку на суху масу, що енергетично еквівалентно 80 млрд.т нафти [1]. За оцінками вона дає понад 2 млрд.т у.п. енергії на рік, що складає близько 14% загального споживання первинних енергоносіїв у світі [2].



Основними факторами, які стимулюють до використання рослинної біомаси як альтернативного джерела енергії є: доступність, відновлюваність, екологічність, універсальність, можливість накопичення і транспортування.

Проте, широкому впровадженню рослинної біомаси в паливний баланс України перешкоджають ряд чинників:

- низькі теплотехнічні характеристики (переважно, це дрібно-фракційна біомаса з широким фракційним складом, низькою насипною і енергетичною щільністю та високою вологістю);
- висока вартість процесів збирання, зберігання, транспортування і переробки;
- невідповідність концентрації запасів біомаси місцевим потребам в теплоенергетиці;
- відсутність комплексу технічних, економічних, правових та законодавчих основ;
- значний експорт сировини і твердого палива виробленого з біомаси.

Крім того, одним з основних стримуючих факторів широкого практичного використання рослинної біомаси є також, недостатня ефективність існуючих технологій прямого використання її енергетичного потенціалу, в існуючих теплоенергетичних установках, для отримання високоякісних, з низькою собівартістю енергетичних продуктів.

Внаслідок дії приведених негативних факторів ефективність використання енергії рослинної біомаси в Україні є доволі низькою, що не дозволяє їй конкурувати з традиційними вуглеводневими паливами по енергетичній ефективності. Проте, навіть часткове їх заміщення дозволяє поліпшити як економічну, так і екологічну ситуацію в країні.

Огляд зовнішнього оточення.

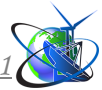
Одним із дієвих шляхів вирішення задачі підвищення ефективності використання енергетичного потенціалу рослинної біомаси є термохімічний метод [3], який впродовж багатьох років розроблявся в Інституті технічної теплофізики НАН України, як спосіб підвищення ефективності використання органічного палива в різних теплоенергетичних установках. В його основі лежить принцип попередньої термохімічної переробки вихідного палива (конверсії) із наступним використанням вже нового палива для генерації теплоти. Він дозволяє:

1. Підвищити теплотехнічні характеристики вихідного палива за рахунок більш високих характеристик конвертованого палива.

2. Підвищити ефективність використання вихідного палива за рахунок регенерації фізичної теплоти, яка втрачається на окремих стадіях термодинамічних циклів теплосилових установок, для виробництва нового конвертованого палива та додаткової роботи в їх енергетичних надбудовах.

3. Зменшити забруднення довкілля шкідливими компонентами продуктів згоряння.

4. Палива, отримані в процесі конверсії, дають можливість адаптувати існуючі теплоенергетичні установки до використання, зокрема рослинної біомаси.



Із застосуванням цього методу, в ІТТФ НАНУ були розроблені: спосіб двоступеневого спалювання твердого палива [4] і спосіб піролізу деревини [5], які дозволили створити технологію і експериментальну установку шнекового типу, для термохімічної конверсії дрібнофракційної рослинної біомаси [6]. Технологічна схема установки приведена на рис. 1.

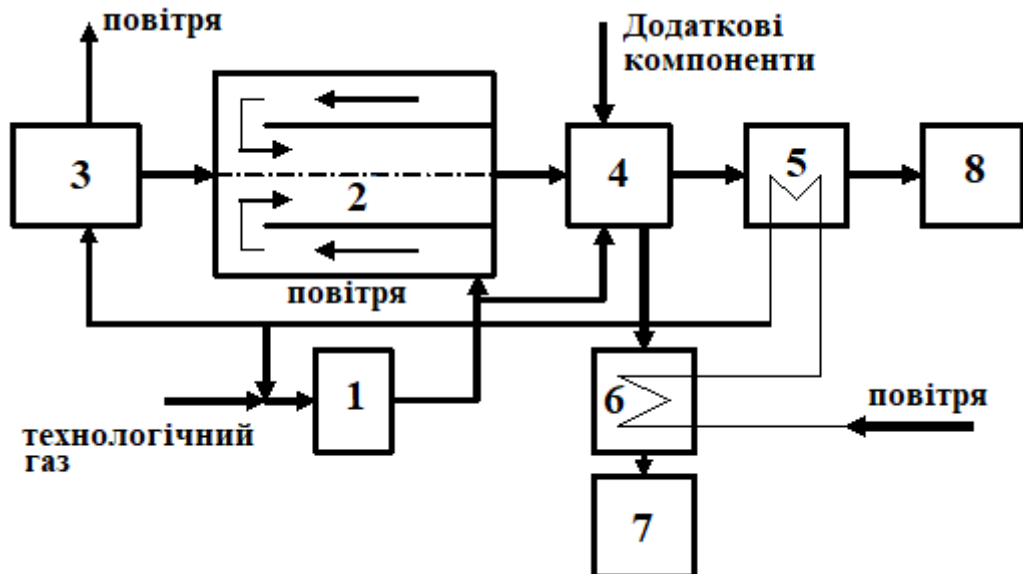


Рис.1. Технологічна схема термохімічної конверсії рослинної біомаси в піролізний газ і біовуглець: 1-технологічна топка; 2- камера піролізу; 3- витратний бункер біомаси; 4- шахта; 5, 6- теплообмінник; 7- бункер біовуглецю; 8- споживач горючого газу.

В основі даного технологічного процесу лежить важлива особливість твердого палива – здатність його органічної маси до термічного розкладу з виділенням летких і твердого коксового залишку.

Аналіз показав, що ефективність такого процесу, в значній мірі, залежить від наступних факторів:

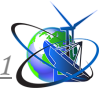
1. Фізичних властивостей вихідної сировини (типу біомаси, її фракційного і елементарного складу, початкової вологості, зольності, насипної і дійсної питомої ваги, схильності до подрібнення і ін.).

2. Технологічних параметрів процесу (температури, тиску, часу конверсії, параметрів теплоносія та способу підведення його теплоти в реакційну зону і ін.).

3. Конструктивних параметрів (теплообмінні поверхні апарату, геометричні розміри затиснутого шару біомаси, розміри і частота обертання шнекового живильника та інші конструктивні особливості).

Особливості даної технології і її основні технологічні параметри були розглянуті і визначені в ході проведеного комплексу аналітичних, експериментальних і конструкторських робіт. Так, для визначення основних технологічних параметрів і їх оптимізації була розроблена математична модель і програма розрахунку процесу, чому присвячена окрема публікація [7].

Результати розрахункових і деяких експериментальних робіт, направлених



на визначення технологічних параметрів процесу в динаміці, в умовах шнекового реактора, висвітлено в роботах [8, 9]. В них показано, що температура процесу є визначальним фактором впливу не тільки на ступінь розкладу органіки біомаси, але й на характер виходу летких та їх складових.

В свою чергу, вихід і якість цільових продуктів, в значній мірі, залежить від виду теплоносія і способу підведення необхідної теплоти в реакційну зону.

Метою даної роботи є підвищення ефективності використання енергетичного потенціалу рослинної біомаси в існуючих теплоенергетичних установках шляхом дослідження і вибору характеристик газового теплоносія для термохімічної конверсії біомаси.

Основна ідея розробленої технології полягає в проведенні піролізу рослинної біомаси, в режимі «теплого удару» високопотенційним газовим теплоносієм, який фільтрується через її затиснутий рухомий шар. Це дозволяє за короткий час перевести значну частину органіки в газову фазу і зменшити вихід смол та закінчити процес на стадії відгонки летких і біовуглецю.

Застосування газового теплоносія дозволяє:

- ✓ інтенсифікувати процеси тепломасообміну, досягти рівномірного прогрівання біомаси по всьому об'єму та виключити зони перегріву;
- ✓ регулювати температуру і графік нагрівання біомаси в часі;
- ✓ зменшити кількість біомаси, що вигоряє, і збільшити вихід біовуглецю;
- ✓ забезпечити високу стабільність процесу та характеристик піролізного газу при зміні вологості біомаси чи зміні технологічного режиму;
- ✓ зменшити забруднення довкілля тепловими і шкідливими викидами в ході термохімічного перетворення енергетичного потенціалу вихідної біомаси в теплоту.

Вхідні дані та методи.

Традиційно, вибір виду газового теплоносія диктується технологічними умовами і кінцевими цільовими продуктами процесу. Він вибирається з врахуванням технічних, економічних і екологічних аспектів.

Так, широкого поширення мають процеси в яких газовим теплоносієм є продукти згоряння частини вихідної сировини, яка піддається піролізу [10]. Основною вимогою отримання високого виходу біовуглецю з хорошими фізико-хімічними характеристиками є відсутність в теплоносії вільного кисню. Проте, отримати безкисневий теплоносій в процесі згоряння біомаси неможливо. В результаті значна частина вільного кисню буде взаємодіяти з вуглецем, що зменшує вихід і погіршує його адсорбційні властивості при обгорянні поверхні. При цьому, в залежності від способу підведення теплоти теплоносія в реакційну зону (зовнішній чи внутрішній), піролізний газ може баластуватися негорючими продуктами згоряння, що зменшує його теплоту згоряння.

Для запобігання надлишковому баластуванню піролізного газу, в якості теплоносія використовують неконденсуючі продукти піролізу [11], після їх охолодження в конденсаційній установці і спалювання. При цьому, вихід біовуглецю і його характеристики покращуються. В той же час, наявність конденсату (жидки) створює додаткові технічні, економічні і екологічні



труднощі при його знешкодженні.

Аналогічні проблеми виникають і при використанні в якості теплоносія перегрітої водяної пари. Крім того, як показали власні попередні дослідження, при підвищенні температури за 600°C , вихід біовуглецю зменшується на 12...14%, що ймовірно є результатом його взаємодії з леткими продуктами піролізу.

Відомий спосіб піролізу біомаси в потоці вуглеводневих газів [12], що дозволяє, за рахунок насичення біовуглецевої матриці продуктами розкладу (сажі), отримувати нові вуглемісткі матеріали з визначеними фізичними характеристиками. Проте, враховуючи значну вартість вуглеводневих газів, застосування цього способу рентабельне тільки при комплексній конверсії біомаси в синтез-газ (склад CO і H_2) і біовуглець високої якості (де нелеткий вуглець складає більше 90%).

В розробленому процесі піроліз рослинної біомаси здійснюється при комбінованому підведенні теплоти газовим теплоносієм у вигляді високотемпературних продуктів неповного згоряння вуглеводневого газу.

Проведений аналіз і попередні експериментальні дослідження визначили основні вимоги до теплоносія: температура $1000\ldots 1100^{\circ}\text{C}$ (яка обмежена температурою плавкості золи вихідної біомаси), фізична теплота не менше 2 МДж/м^3 (обумовлена необхідною кількістю додаткової теплоти для піролізу рослинної біомаси), хімічна теплота не менше 6 МДж/м^3 (теплоносії не повинен баластувати піролізний газ і погіршувати його теплотехнічні характеристики, особливо при значній зміні вологості біомаси), мінімізація вільного кисню в його складі.

В розробленому процесі газовий теплоносії отримується в ході неповного згоряння природного газу при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha=0,7\ldots 0,75$ і температурі згоряння $1200\ldots 1250^{\circ}\text{C}$, а додавання вторинного газу дозволяє отримати теплоносії з температурою $1000\ldots 1100^{\circ}\text{C}$. Такий режим вибраний з міркувань стабільної і безпечної роботи пальника. Хоча, як видно з рис.2, найкращі теплотехнічні характеристики теплоносія, розраховані за методом В.Ф. Копитова, забезпечуються при $\alpha=0,5$ [13].

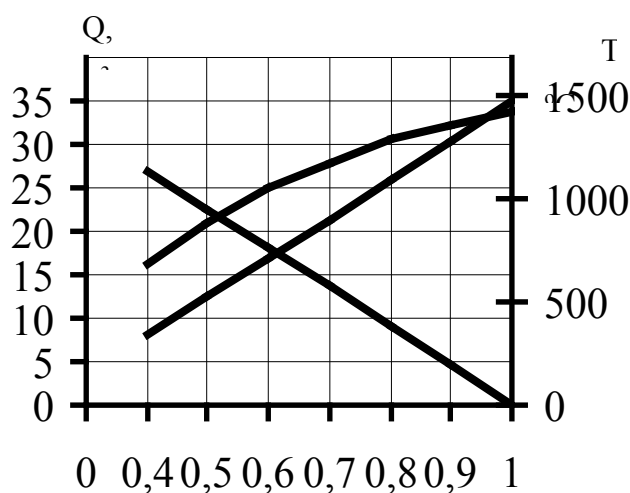


Рис.2. Зміна параметрів газового теплоносія в залежності від коефіцієнту надлишку повітря (α):
 1 - фізична теплота; 2 - дійсна температура згоряння;
 3 - хімічна теплота.

При вибраному режимі досягається: по-перше, необхідна температура



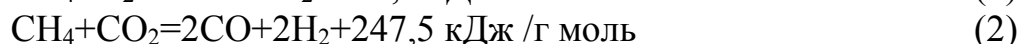
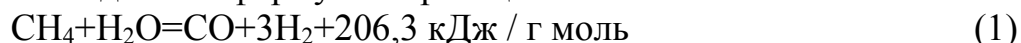
теплоносія 1000...1100°C, при необхідній фізичній і хімічній теплоті. По-друге, як видно з табл. 1, при $\alpha = 0,5$, в складі продуктів неповного згоряння міститься, приблизно, на 20% менша кількість CO_2 і H_2O , які є баластом для піролізного газу.

Таблиця 1.

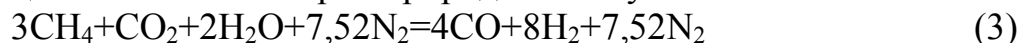
Об'єм і склад вологих продуктів неповного згоряння природного газу, в залежності від α [13]

α	CO_2		CO		H_2O		H_2		N_2		Об'єм вологих продуктів, $\text{м}^3/\text{м}^3$
	$\text{м}^3/\text{м}^3$	%	$\text{м}^3/\text{м}^3$	%	$\text{м}^3/\text{м}^3$	%	$\text{м}^3/\text{м}^3$	%	$\text{м}^3/\text{м}^3$	%	
0,4	0,11	1,82	0,89	14,71	0,52	8,6	1,47	24,3	3,06	50,57	6,05
0,5	0,19	2,78	0,81	11,86	0,83	12,15	1,16	16,98	3,84	56,23	6,83
0,6	0,30	3,98	0,70	9,28	1,12	14,86	0,87	11,54	4,55	60,34	7,54
0,7	0,43	5,19	0,57	6,88	1,39	16,76	0,60	7,24	5,30	63,93	8,29
0,8	0,60	6,64	0,40	4,43	1,62	17,92	0,37	4,09	6,05	66,92	9,04
0,9	0,79	8,06	0,21	2,14	1,83	18,68	0,16	1,68	6,81	69,49	9,80
1,0	1,00	9,34	-	-	2,11	19,72	-	-	7,59	70,94	10,7

Для приведення характеристик теплоносія до необхідних параметрів, в продукти неповного згоряння природного газу (при $\alpha=0,7...0,75$), вводився вторинний газ і реалізувався процес його високотемпературної змішаної конверсії, згідно з наведеними формулами реакцій:



Загалом, процес змішаної конверсії природного газу можна записати



Ефективність такого двостадійного процесу показана рядом дослідників [14, 15], які підтверджують, що дана схема реакцій може бути реалізована вже при температурі конверсії 800...1000°C. Проте відомо, що крім реакцій (1) і (2), проходять також і інші вторинні реакції, зокрема, реакція піролізу метану з утворенням сажі, яка насичує біовуглецеву матрицю:



В зв'язку з цим, при розрахунках процесу високотемпературної змішаної конверсії, виникають певні труднощі, оскільки є необхідність враховувати комплекс цих реакцій. Тому, при вирішенні інженерних задач визначення характеристик теплоносія, витрат вторинного газу у визначеному діапазоні α та інших параметрів доцільніше обмежитися експериментальними даними.

Дослідження змішаної конверсії природного газу проведено на лабораторній установці, яка включала спеціальну камеру згоряння і реакційну зону.



Камера згоряння попереднього змішування розрахована на спалювання до 3 н.м³ (нормальних кубометрів) природного газу з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha=0,7...1$. Вона виготовлена пористою, з шамотної крупки діаметром 2...2,5мм.

До камери згоряння стикується реакційна зона, довжиною 0,5 м. Реакційна зона є циліндричною і футерована Al_2O_3 до діаметру 0,04 м. На вході реакційної зони знаходиться камера, з радіально розміщеними отворами для подачі вторинного газу. Витрати вторинного газу можуть змінюватися від 0,1 до 1 н.м³, що складає загальний коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha_{\text{заг}} = \frac{V_{\text{д}}}{(G_{\text{ог}} + G_{\text{вг}})L_{\text{т}}} \quad (7)$$

де $V_{\text{д}}$ - дійсна кількість повітря, м³; $G_{\text{ог}}$ - кількість основного газу, м³;

$G_{\text{вг}}$ - кількість додаткового газу, м³; $L_{\text{т}}$ - теоретично необхідна відносна кількість повітря для спалювання природного газу, м³/м³.

По довжині реакційної зони, на відповідних відстанях, від місця введення вторинного газу, встановлено шість штуцерів, для відбору проб газу: 1 - 0,015м; 2 - 0,065м; 3 - 0,135м; 4 - 0,205м; 5 - 0,280м і 6 - 0,345м. В цих же точках, в момент відбору проб газу, проводилося вимірювання температури, при допомозі вольфрам-ренієвих термопар ВР-5/20, а також шести термопар градування ХА, що встановлені на корпусі реакційної зони.

Вертикально, до реакційної зони стикується камера допалювання продуктів конверсії, куди подається відповідна кількість повітря для повного їх спалювання. Камера допалювання має водяне охолодження і закінчується димовою трубою, яка під'єднана до вентиляційної системи видалення продуктів згоряння, з температурою 25...35°C.

Вимірювання витрат матеріальних потоків (газу і повітря) проводилося ротаметрами РС-5, з регулюванням відповідною арматурою.

Вихід установки на режим характеризувався виходом на режим камери згоряння, прогріванням реакційної зони і встановленням постійних температур по її довжині. А також, виходом на режим реакційної зони, в момент протікання реакцій конверсії природного газу, про що свідчить сталість температур в часі, в кожній з шести реперних точок.

Після виходу реакційної зони на режим проводився відбір проб газу на аналіз в шість ємностей Коро. Аналіз проводився на хроматографах «Газохром 3101» і ЛХМ -80 на вміст компонентів: H_2 , O_2 , N_2 , CH_4 , CO , CO_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_8 . В хроматографі ЛХМ-80 використовувався гелієвий газ-носіє. Проте, оскільки теплопровідність водню мало відрізняється від теплопровідності гелію, то аналіз газу на вміст водню проводився на хроматографі «Газохром 3101», а в якості газу-носія використано повітря.

Результати досліджень.

Дослідження високотемпературної змішаної конверсії природного газу здійснювалося при постійних значеннях роботи камери згоряння, в режимі неповного згоряння при $\alpha=0,7...0,75$ і температурі продуктів згоряння 1200...1250°C, що є неприпустимим, щодо визначених вимог до теплоносія.



Для корегування його характеристик до оптимальних, в продукти неповного згоряння вводився вторинний газ. Основна задача досліджень полягала у визначенні витрат вторинного газу, для отримання теплоносія з температурою 1000...1100°C. Як видно з графіків, представлених на рис.3, такі параметри теплоносія були отримані при введенні вторинного газу в кількості 0,4...0,5 н.м³/н.м³, що відповідало режиму спалювання з загальним $\alpha_{\text{заг}}=0,46\ldots0,5$.

Необхідно відзначити, що падіння температури теплоносія відбувається вже на відстані 0,015 м від місця введення вторинного газу. Це дає підстави стверджувати, що реакції високотемпературної конверсії метану досить швидкоплинні. А проведені розрахунки теплового і матеріального балансів показали, що падіння температури теплоносія досягається, як за рахунок регенерації фізичної теплоти продуктів конверсії в вторинний газ, так і за рахунок ендотермічного ефекту реакцій.

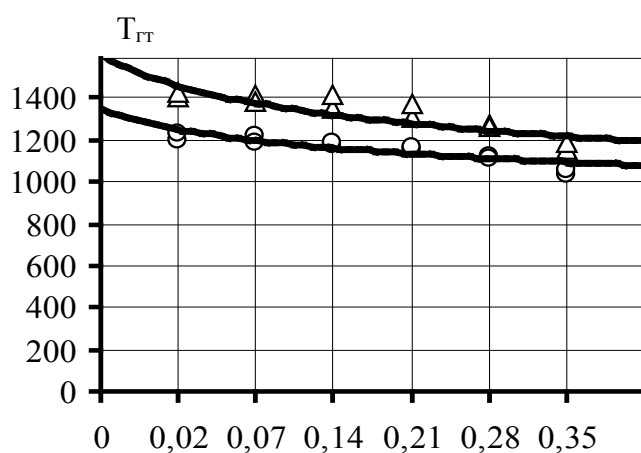


Рис.3. Зміна температури теплоносія по довжині реакційної зони при різних витратах вторинного газу, м³/м³: 1 - 0,4; 2 - 0,5.

При цьому, більш суттєве падіння температури спостерігалось на відстані 0,135 м, що вказує і на часовий фактор впливу. Це підтверджує і зміна складу газового теплоносія по довжині реакційної зони (рис. 4, 5).

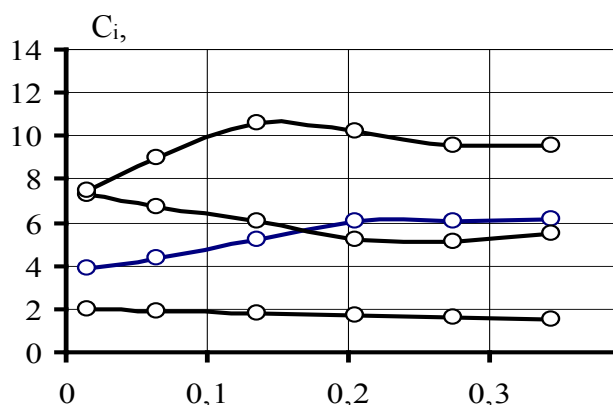


Рис.4. Зміна складу газового теплоносія по довжині реакційної зони при конверсії 0,4 н.м³/н.м³ природного газу : 1 - CO, 2 - H₂, 3 - CO₂, 4 - CH₄

Те, що при даних умовах іде процес змішаної конверсії природного газу свідчать і дані зміни кількості баластних компонентів в складі теплоносія, які наведені в табл.2.

Згідно приведених результатів видно, що кількість баластних компонентів вдалося зменшити більше як на 30%, а це суттєво підвищило теплотехнічні характеристики теплоносія.

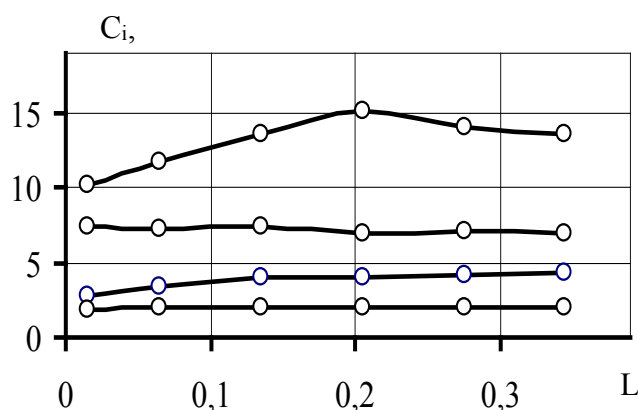


Рис. 5. Зміна складу газового теплоносія по довжині реакційної зони при конверсії 0,5 н.м³/н.м³ природного газу: 1 - CO, 2 - H₂, 3 - CO₂, 4 - CH₄

Таблиця 2

Зміна баластних компонентів в продуктах змішаної конверсії природного газу, в залежності від кількості вторинного газу

α	Кількість вторинного газу, м ³ /м ³	CO ₂ , %	CO, %	H ₂ O, %	H ₂ , %	CH ₄ , %	N ₂ , %	Σ баласту, %	Q ^p _{хім} , МДж/м ³
0,7	-	5,19	6,88	16,76	7,24	-	63,93	85,88	1,58
0,5	0,4	5,05	21,54	15,83	22,11	3,44	32,03	52,91	6,34
0,44	0,5	5,0	21,33	15,5	21,65	4,29	35,23	55,73	6,57

Для порівняння, в табл. 3 наведено параметри теплоносія при неповному згорянні природного газу при $\alpha=0,7$ і при змішаній його конверсії (0,4 м³/м³), з загальним $\alpha_{\text{заг}}=0,5$.

Таблиця 3

Порівняння параметрів теплоносія при неповному згорянні природного газу і змішаній його конверсії

Коефіцієнт надлишку повітря, α_3	Параметри							
	CH ₄ , %об.	CO, % об.	H ₂ , %об.	Σ баласт, %	T _т , °C	Фізична теплота, МДж/м ³	Хімічна теплота, МДж/м ³	Ступінь конверсії, %
0,7	-	6,88	7,24	85,88	1250	19,8	13,7	-
0,5	3,44	8,86	10,5	74,4	1060	13,36	20,14	12

Обговорення та аналіз результатів.

З отриманих результатів експериментальних досліджень видно, що:

1. Не дивлячись на низьку ступінь конверсії метану (10...15%), теплоносії отриманий при змішаній його конверсії, з загальним коефіцієнтом надлишку повітря 0,5, характеризується температурою (1000...1060°C), стабільністю складу, достатньою фізичною та хімічною теплотою, які цілком задовольняють визначеним вимогам.

2. Одним з дієвих шляхів підвищення ступеня конверсії, є попередній підігрів вихідних продуктів (повітря і природний газ) до більш високих температур за рахунок термохімічної регенерації теплоти даного процесу.

3. Процес змішаної конверсії дозволив зменшити на 30% баластні компоненти H₂O і CO₂ у порівнянні з їх концентрацією при повному згорянні.



Висновки.

В роботі наведені основні результати аналітичних і експериментальних робіт, направлених на отримання детальної інформації про спосіб отримання високотемпературного газового теплоносія і його теплотехнічні характеристики.

В ході проведених досліджень визначено основні технологічні параметри утворення високотемпературного теплоносія з теплотехнічними характеристиками необхідними для проведення процесу термохімічної конверсії рослинної біомаси. Такий теплоносій забезпечує підведення необхідної додаткової теплоти в зону реакції і покращує теплотехнічні характеристики піролізного газу, при зміні технологічних параметрів процесу чи вологості вихідної біомаси.

Література

1. Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. Хімія і фізика горючих копалин. Донецьк: Східний видавничий дім, 2008.- 600с.
2. Калетнік Г.М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України: монографія. -К.: Хай-Тек Прес, 2010.- 516с.
3. Носач В.Г. Энергия топлива. Отв.ред. Еринов А.Е.; АН УССР, Ин-т технической теплофизики. – Киев: Наук. думка, 1989. – 148с.
4. Патент UA 52297 А Україна, МПК F23B1/14. Спосіб двоступеневого спалювання твердого палива / Носач В.Г., Скляренко Є.В., Родіонов В.І.;-№ 2002042675; заявл.: 03.04.2002; публ.: 16.12.2002, Бюл. № 12.
5. Патент 43070 А Україна, МПК C10B 53/02 Спосіб піролізу деревини / Носач В.Г., Іванова Л.І., Яворовський П.П., Скляренко Є.В., Родіонов В.І. -№ 2001020750; заявл. 02.02.2001; публ.: 15.11.2001, Бюл. № 10.
6. Патент на корисну модель UA 79797 U Україна, МПК C10B 51/00. Установка для энерготехнологической переработки биомассы / Білека Б.Д., Погожев В.М., Скляренко Є.В.-№ u 2012 14465; заявл.: 17.12.2012; публ.: 25.04.2013, Бюл. №8.
7. Баштовой А.И., Скляренко Е.В. Математическое моделирование процесса газификации древесины / Промышленная теплотехника. 2006. –т.28, №6.- С.71-77.
8. Носач В.Г., Скляренко Е.В., Родионов В.И. Исследование термохимической переработки древесины в зажатом подвижном и фильтруемом слое / Промышленная теплотехника. - 2005. – т.27, №5. – С. 66 - 69.
9. Скляренко Е.В., Билека Б.Д. Исследование процесса термохимической конверсии растительной биомассы в горючий газ и биоуглерод на установке шнекового типа / Энерготехнологии и ресурсосбережение.-2016.-№2.-С. 43-49.
10. Козлов В.Н., Нимвицкий А.А. Технология пирогазификационной переработки древесины. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954.- 620 с.
11. Фалюшин П.Л., Дударчик В.М., Тановицкий В.И. и др.. Экспериментальная установка по термохимической переработке бурых углей и результаты ее испытаний / Природопользование. Минск, 2009. Вып. 15. С.211-



217.

12. Зайченко В.М., Косов В.В., Косов В.Ф., Синельщиков В.А., Сокол Г.Ф. Экспериментальное обоснование технологии комплексной переработки древесных отходов и природного газа / Теплоэнергетика. 2008. № 7.-С.47.

13. Бербенев В.И. Сжигание газа в печах безокислительного и малоокислительного нагрева. – Л.: Недра, 1988. – 175с.

14. Подовани С., Сальви Г., Фиумара А. Теоретическое и опытное исследование неполного окисления метана кислородом.-В кн.: IV Международный нефтяной конгресс.-Гостоптехиздат, 1956, т.5.-С.91-108.

15. Карп И.Н., Сорока Б.С. Кислородная и воздушно-кислородная конверсия метана.-Киев: Наукова думка, 1976.-С.61.

Abstract. A screw type installation is proposed, which implements the technology of thermochemical conversion of plant biomass into combustible gas and bio carbon. The technology is based on the use of the pyrolysis process in the clamped and moving biomass layer, when using a heat-carrying agent in the form of high-temperature products of the combustion of hydrocarbon gas. The results of computational and experimental studies of the main operational parameters for obtaining a gas heat-carrying agent and its heat engineering characteristics are presented.

Key words: biomass, thermochemical conversion, pyrolysis, gas heat-carrying agent, screw reactor.

Стаття підготовлена у рамках виконання науково-дослідної відомчої тематики НАН України, тема «Розвиток методів та засобів підвищення екологоенергетичної ефективності в газотурбобудуванні та теплоенергетиці» (шифр 1.7.1.896).

Стаття відправлена: 10.06.2020 г.
© Скляренко Є.В., Воробйов Л.Й.



УДК 621.311

MONITORING OF ELECTRIC POWER SUPPLY PARAMETERS OF DRILLING EQUIPMENT FOR THE PURPOSE OF ENSURE RELIABILITY МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ БУРОВОГО ОБЛАДНАННЯ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОСТІ РОБОТИ

Nykolyn U.M. / Николин У.М.

с.т.с., as.prof. / к.т.н., доц

<https://orcid.org/0000-0001-9111-1280>

Nykolyn P.M. / Николин П.М.

<https://orcid.org/0000-0003-1453-8445>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG),

Ivano-Frankivsk Karpatska 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

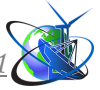
Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019

Анотація. У цій статті розглянуто проблему підвищення надійності експлуатації бурового обладнання. Виявлено найбільш ненадійні елементи електрообладнання. Рекомендується контролювати параметри електроживлення бурового обладнання з метою контролю струмів високих гармонік. Для цього був використаний універсальний апаратний та програмний комплекс. З метою підвищення надійності пропонується відокремити ланцюги живлення електричної дрилі та додаткового бурового обладнання, яке виступає джерелом струмів вищих гармонік.

Ключові слова: надійність, буріння свердловин, електробур, математична модель надійності, несинусоїдність, вищі гармоніки струму і напруг.

Вступ. Проблема забезпечення надійності електробурового обладнання охоплює широке коло питань теоретичного, практичного та організаційного характеру. Вагомими чинниками, які характеризують процес буріння свердловин і впливають на безаварійність роботи, є: тяжкі умови експлуатації, обумовлені умовами довкілля, наявність агресивних середовищ, можливість утворення вибухонебезпечних сумішей. Також суттєвий вплив спричиняють нестабільність навантаження, концентрація великих потужностей, наявність великої кількості елементів, параметри яких постійно змінюються в часі, коливання напруги при запуску потужних агрегатів [1]. Виникнення коротких замикань зумовлюють перерви в електропостачанні, що, в свою чергу, призводять до простою обладнання, зниження об'єму вихідної продукції. Недостатній рівень надійності бурового обладнання зумовлює зростання експлуатаційних витрат та часу простою. Окрім цього, при недостатньому рівні надійності функціонування обладнання раптові відмови вузлів та деталей внаслідок порушення встановленої технології буріння можуть призвести до важких аварій, витрати на ліквідацію яких будуть досить великими [1, 2]. Як бачимо, визначення здатності бурового обладнання забезпечувати безперебійну роботу є доволі актуальним питанням.

Основна частина. Важливим чинником, який впливає на довговічність та безвідмовність роботи електрообладнання, є якість електричної енергії. Адже живлення споживачів електроенергією з низьким рівнем показників якості зумовлює інтенсифікацію процесу зношування та старіння, що призводить до



зростання потоку поступових відмов обладнання. Аналізуючи процес старіння електродвигунів потрібно оцінювати стан механічних вузлів, конструктивних матеріалів, оскільки зміна властивостей будь-якої частини електродвигуна тягне за собою зміну робочих параметрів та впливає на інтенсивність відмов двигуна. Проведений аналіз статистичних даних щодо виходів з ладу складових вузлів електробура показав, що значна кількість відмов електродвигуна електробура зумовлена пробоем ізоляції обмоток. Основними причинами цього явища є перегрів обмоток внаслідок важких умов експлуатації, а також живленням двигуна електроенергією пониженої якості [2].

Діагностику поточного стану обладнання, визначення залишкового ресурсу роботи та необхідності проведення ремонту можна здійснювати за аналізом поточних показників роботи обладнання, які б відображали тенденцію до виникнення відмови. Це можливо забезпечити двома етапами: застосуванням системи контролю енергетичних параметрів, визначенням енергетичних показників електротехнічного обладнання, які дадуть змогу визначити шляхи підвищення надійності.

Процес буріння свердловини електробуром характеризується енергетичними параметрами системи: фазними струмами та напругами двигуна електробура; активною, реактивною та повною потужністю споживання; швидкістю обертання валу; моментом на валу двигуна; показниками якості напруги живлення. Крім цього, на процес електробуріння буде впливати робота допоміжних механізмів, а саме режими роботи бурової лебідки, бурового насоса, ротора та інших пристроїв. Порушення роботи цих механізмів буде спричиняти поступові відмови електробура. Тому також необхідно здійснювати контроль за енергетичними параметрами цього обладнання.

На сьогодні в умовах бурової установки контроль за певними параметрами роботи елементів системи електропостачання електробура здійснюється з допомогою звичайних приладів та самописця, що фіксує навантаження на долоті, які не здатні забезпечити комплексний моніторинг роботи електробура.

З метою забезпечення необхідною інформацією про процес активного буріння в реальному масштабі часу доцільно використати систему контролю енергетичних параметрів (СКЕП) [3]. Дана система є універсальною інформаційно-вимірювальною системою, призначеною для проведення експериментальних наукових досліджень функціонування різноманітного електроустаткування. В основу роботи СКЕП покладена технологія віртуальних приладів, яка базується на методах цифрової обробки сигналів і графічному програмуванні алгоритмів та інтерфейсів прикладних програм. Початковими сигналами для СКЕП є миттєві значення напруг і струмів у трьох фазах. Подальший аналіз миттєвих значень струмів та напруг забезпечує виявлення джерел спотворення якості електроенергії, величину активної та реактивної потужності навантаження, коефіцієнту гармонік, коефіцієнту несиметрії, коефіцієнту потужності, частоти напруги і струму. Для програмної частини використано стандартизовані структури і стандартні алгоритми цифрової обробки сигналів: визначення середньоквадратичних значень, швидке перетворення Фур'є, обчислення середнього арифметичного значення.



До складу апаратної частини СКЕП входять перетворювачі напруги CV3-1000 та струму АТА-2504 на основі ефекту Холла, 16-бітний багатоканальний аналого-цифровий перетворювач NI USB-6210 з інтерфейсом USB, ноутбук та переносне джерело безперебійного електроживлення [3]. Під'єднання вимірювальних елементів СКЕП здійснюється на кабельних виводах в шафі керування електробуром.

З використанням пристрою СКЕП було проведено дослідження енергетичних параметрів електробурового обладнання під час спорудження свердловини «Ясиновець» на Прикарпатті. Буріння здійснювалось з допомогою двигуна Е 240-8М. Після реєстрації необхідних даних, було здійснено обробку сигналів та визначення основних енергетичних параметрів електробура. З цією метою застосовано віртуальний прилад в середовищі LabVIEW.

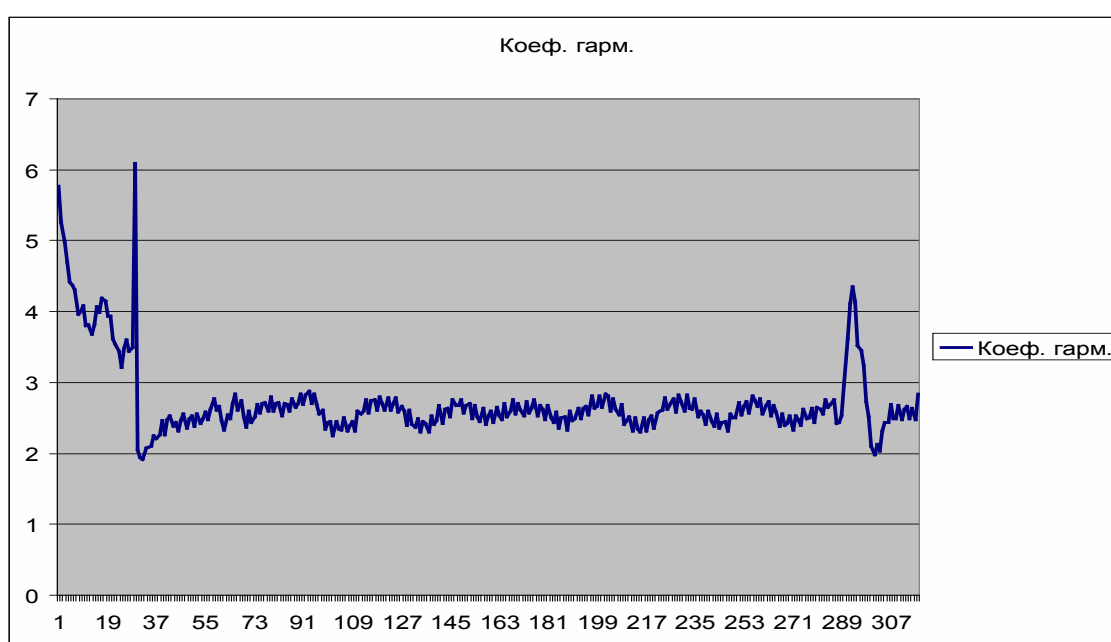


Рис. 1 – Динаміка коефіцієнту гармонік напруги електробура Е240-8 на глибині 150м (один відлік на осі часу відповідає 0,1с)

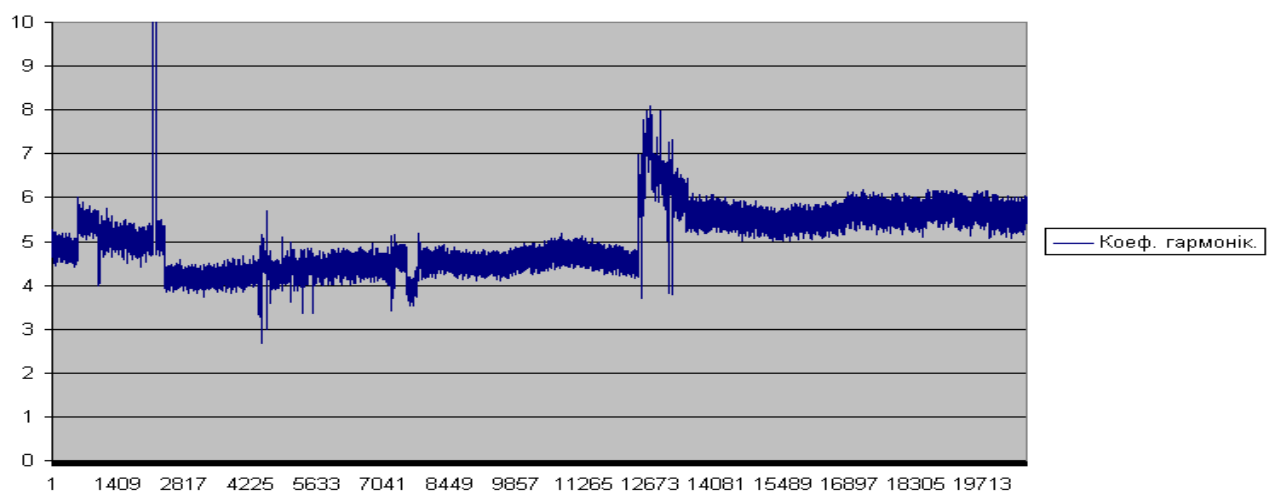


Рис. 2 - Залежність коефіцієнту гармонік напруги фази електробура в часі на глибині буріння 2300 м (один відлік на осі часу відповідає 0,1с)

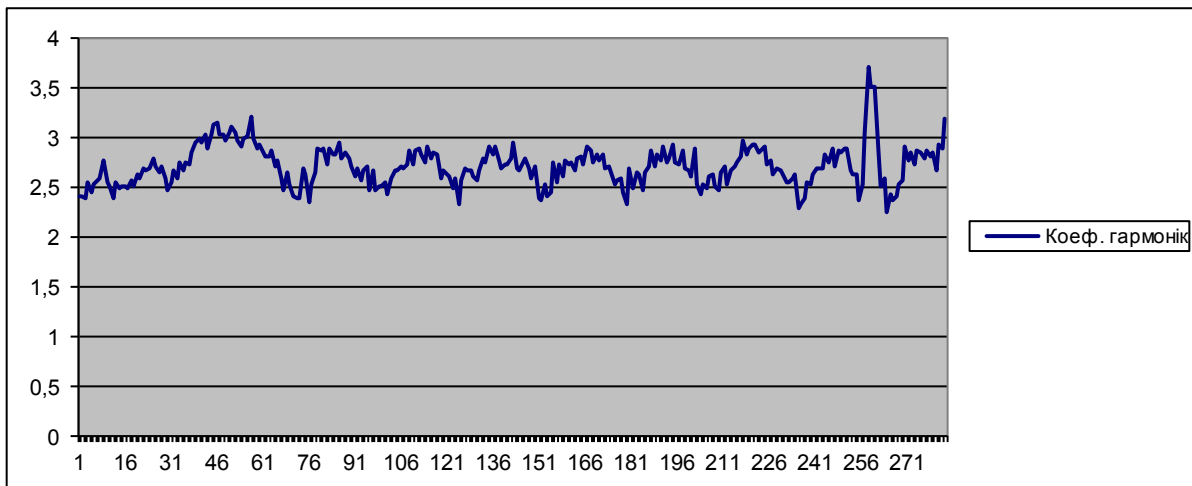
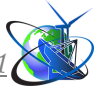


Рис. 3 – Залежність коефіцієнту гармонік струму електробура E240 -8 в часі 8М на глибині 150м (один відлік на осі часу відповідає 0,1с)

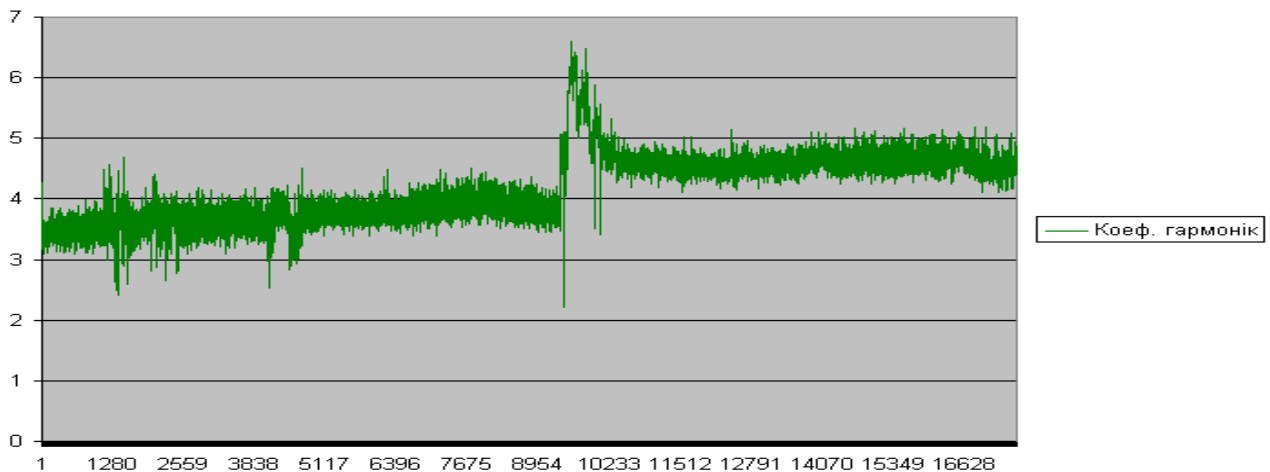


Рис. 4 - Залежність коефіцієнту гармонік струму фази електробура в часі на глибині буріння 2300 м (один відлік на осі часу відповідає 0,1с)

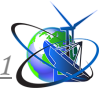
В ході подальшої обробки експериментальних даних здійснено спектральний аналіз кривих напруги та струму з метою визначення коефіцієнту гармонік (рис. 1 – рис. 4). Відповідні заміри здійснювались на початку спорудження свердловини на глибині 150 м, а також на глибині 2300 м.

Як бачимо з отриманих графічних залежностей, в кривих струмах та напругах живлення двигуна електробура містяться складові вищих гармонік. Причому по мірі заглиблення свердловини рівень цих гармонік зростає.

Присутність вищих гармонік струму зумовлена впливом тиристорних перетворювачів (керованих випростувачів напруги), які слугують для живлення двигунів постійного струму приводу лебідки та насоса.

Вищі гармоніки зумовлюють зниження якості електроенергії на буровій установці, спричиняють негативний вплив на роботу електрообладнання, а саме:

- зростає споживання реактивної потужності за рахунок потужності спотворення;
- зростають втрати електроенергії в мережі та електроприймачах;



- зростає нагрів електроприймачів, що спричинює прискорення процесів старіння ізоляції;
- відбувається ріст втрат в діелектрику ізоляції;
- обмежується застосування компенсуючих батарей конденсаторів внаслідок можливості появи резонансних явищ чи перевантаження батарей.

Оскільки вищі гармоніки зумовлюють додатковий нагрів електрообладнання, внаслідок чого інтенсивніше проходить процес старіння ізоляції, то відбувається зниження рівня надійності обладнання.

Висновки.

Експериментально встановлено наявність струмів вищих гармонік в системі електропостачання електробура, які зумовлюють додатковий нагрів кабельних секцій струмопідводу занурюваного двигуна. З метою підвищення надійності кабельних секцій доцільним є розділення кіл живлення двигуна електробура та допоміжного обладнання бурової установки, яке є джерелом вищих гармонік. Запропонований захід забезпечить надійне живлення занурюваного обладнання синусоїдними напругою та струмом.

Рекомендовано забезпечити моніторинг параметрів роботи електробурового обладнання з метою виявлення та оперативного усунення несправностей шляхом забезпечення достатньої кількості запасних одиниць обладнання, яке є малонадійним, а саме бурильних труб з вмонтованими кабельними секціями струмопідводу, пристроїв контролю ізоляції, струмоприймачів та двигунів електробура. Це дасть змогу зменшити простоювання бурової установки.

Література:

1. Меньшов Б.Г. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учеб. для вузов. [Текст] / Б.Г.Меньшов, М.С.Ершов, А.Д. Яризов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2000. – 487с. – ISBN 5-247-03867-3.
2. Федорів М.Й. Аналіз надійності ремонтпридатного електрообладнання систем електропостачання бурових установок [Текст] / М.Й.Федорів, І.В.Гладь, У.М.Маскевич // Методи та прилади контролю якості. – 2007. – № 19. – С. 60-65. – ISSN 1993-9981.
3. Федорів М.Й. Підвищення надійності комплексу електротехнічних засобів для електробуріння [Текст] / М.Й. Федорів, І.В. Гладь, У.М. Николин, А.І. Поточний // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2008. – №30 – С.204-209.

Abstract. This article considers the problem dealing with the increase of operation dependability of electric drill equipment. Complex analysis of failures causes of this equipment is worked out. It is detected the most unreliable elements of electric equipment. It is recommended to monitor power supply parameters of electric drill equipment with the purpose to control high harmonic currents. For this purpose it was used universal hardware and software complex. It was found out that the voltage and current harmonic ratios increased as it deepens. It is shown that this causes an intensification of the process of equipment failure formation. In order to increase



reliability, it is proposed to separate the power supply circuits of the electric drill and additional drilling equipment, which acts as a source of currents of higher harmonics.

Keywords: *reliability well drilling, electric drill, mathematical model of reliability, non-sinusoidal, high harmonics.*

Стаття відправлена: 12.06.2020 р.

©Николин У.М.



УДК 622.244

**MONITORING THE STATUS OF GAS WELLS AT UNSTEADY
FILTRATION MODE STUDIES**
**МОНІТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН ПРИ
НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ФИЛЬТРАЦИИ**

Roy M.M. / Рой М.М.*c.t.s., associate professor. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-0415-3819

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,**Poltava, Pershotravnevyj Ave. 24, 36011**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,**Полтава, Першотравневий проспект, 24, 36011***Akulshin O.O. / Акульшин О.О.***d.t.s., associate professor. / д.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8977-8294

*Ukrainian Oil and Gas Institute (JSC "UKROGI"), Kiev, Kudryavsky descent, 7, 04053**Український нафтогазовий інститут (ПІАТ «УКРНГІ»),**Київ, Кудрявський узвіз, 7, 04053***Soloviyov V.V. / Соловійов В.В.***d.p.c.s., prof. / д.ф.х.н., проф.*

ORCID: 0000-0002-0805-966X

Usenko D.V. / Усенко Д.В.*PhD student, asistant / аспірант, асистент.*

ORCID: 0000-0001-7133-0638

Shkil D.A. / Шкіль Д.А.*student / студент**National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»,**Poltava, Pershotravnevyj Ave. 24, 36011**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,**Полтава, Першотравневий проспект, 24, 36011*

Abstract. Based on the analysis of the state of works on well research in industrial practice from the point of view of complexity, cost, duration, environmental aspect, it was found that the work on researching wells in the case of stationary filtration using traditional technology or on one actually worked out research mode can be considered positive. In the case of studies of highly permeable reservoirs characterized by non-stationary filtration, the research is based on obtaining pressure recovery curves and applying mathematical techniques to obtain, using the interpretation of the data, the necessary information about the reservoirs being studied. It is noted that it is necessary to create a research method and interpretation methodology for the data obtained and some elements of the methodology for calculating gas-dynamic parameters of productive gas and gas condensate wells for unsteady production filtration prior to bottom-hole are given.

Keywords: well research, interpretation technique, stationary modes, non-stationary modes.

Introduction.

Introduction. To study the geometrical characteristics of the reservoir (the size of product reservoirs, the change in the total and effective thickness of the reservoir), reservoir and filtration properties of the reservoir (porosity, permeability, gas conductivity, piezo conductivity, reservoir, bottomhole, wellhead pressures, and temperatures), physical and chemical properties of the gas and gas condensate (viscosity, density, compression coefficient, gas saturation, humidity), hydro-gas and



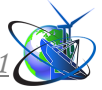
thermodynamic conditions in the wellbore during operation, the technological regime of the well in the presence of various factors, such as the destruction of the bottom hole zone, the presence of bottom water, structures and properties of the equipment used and ground communications - gas-hydrodynamic, geophysical and laboratory studies are used.

Laboratory ones are reduced mainly to the study of the physicochemical properties of gas-containing objects as well as the gas and liquid which are in them. The conditions for obtaining reservoir parameters, for example, porosity, permeability, gas saturation for small samples in laboratories, in most cases significantly differ from the same parameters obtained in natural conditions. In addition, they are of a point nature and therefore it is incorrect to distribute them to the entire field.

Geophysical methods characterize areas close to the walls of the wellbore. These include logging, nuclear magnetic resonance, thermometry and debit meter. With their help, it is possible to determine by measuring working production intervals or interlayers, flow rates of individual interlayers, filtration resistance coefficients, permeability, piezoelectric conductivity.

Gas-dynamic research methods include removing the PRC after a well shut-off, taking pressure stabilization and flow rates when a well is put into operation in a specific mode (washer, nozzle, diaphragm) and taking an indicator curve that reflects the relationship between the bottomhole pressure and flow rate during well operation in various modes. These studies provide evidence for their interpretation in order to obtain reliable information about the studied formations. Moreover, studies under stationary filtering conditions are described in various ways, and studies under unsteady conditions have a problem which lies in the lack of a research method in one unsteady mode. Gas-hydrodynamic methods for researching wells were covered in the scientific works of Yu.P. Korotaev, A.P. Polyanskii, E.B. Chekalyuk, I.A. Charnii, G.A. Zotova, S.M. Tverkovkina, A.P. Kanyuga, A.I. Shirkovskii, A.S. Velichkovskii. The instructions for a comprehensive study of gas and gas condensate wells describe technologies and technical means for conducting research on a stationary filtration mode. At the same time, neither the domestic nor the foreign scientific and technical literature has covered technologies and technical means for conducting research on gas and gas condensate wells in difficult geological conditions, that is, under conditions of non-stationary filtration of products before the bottom of the well. And this problem remains unresolved for several decades. A solution to this problem would allow raising the study of gas and gas condensate wells to a new level.

Now non-stationary filtration modes are studied at a certain level, which makes it possible to obtain a small amount of information about the studied reservoirs based on the use of data obtained from processing pressure recovery curves. These data are not exhaustive and the accuracy of their determination is not sufficient since they are obtained as a result of an integrated approach - by laboratory, geophysical or hydrodynamic methods. There is no research technology in the case of non-stationary filtration, which would make it possible to calculate a significantly larger amount of data on the well-formation system and saturating its fluid.



The publication highlights the level of gas-dynamic studies for both cases of gas and gas condensate filtration before the bottom of the well - stationary and unsteady.

An analytical definition of several important parameters of the studied gas and gas condensate wells is proposed, regardless of whether the research mode is stationary or non-stationary.

Main text

Research Methodology. A study of the actual material on well research under stationary and non-stationary filtration revealed the positive aspects and disadvantages [1]. The positive is that it is possible to determine a certain number of parameters of the studied formations, regardless of the duration of the study, and the negative is the lack of accuracy of the obtained parameters and the significant investment of time, and therefore the means for research.

As you know, absolutely stationary modes in nature do not exist, since the volumes of gas and gas condensate fields are ultimately limited in size. However, with a certain convention, it is possible to call a stationary mode such an unsteady mode, in which the change in pressure and flow rate over a period of time by the existing most accurate instruments is not fixed. Of course, the period of time during which the required parameter is measured should be significantly less than the time the reservoir is exhausted. Stationary modes are well studied and they are investigated by known methods: constant sampling, isochronous, monotonous-step pressure reduction, express method. For this, the well is examined in 5-8 forward modes, starting from the production rate itself, and in several reverse modes. Each study mode consists of two processes that occur in time: the process of an open period when the well is open and operates in the mode (to take the pressure stabilization curve and flow rate), and a closed period when the well is closed and PRC is removed. That is, as a result of the study, 5-8 inflow curves, 5-8 pressure recovery curves and several curves with the reverse course of the study are obtained. This takes a certain amount of time, depending on the productivity of the well (a regimen alone can last from an hour to a month). That is, you can imagine how much time 5-8 modes will be worked out under unfavourable conditions for this through low well productivity.

Interpreting the actual research data obtained during the study using known methods, from 5 to 8 parameters of the studied formations are obtained. But there is a research method and a data processing technique that uses data from only one actually worked out research mode and allows one to obtain analytically, without resisting laboratory or geophysical research data, at least 20 parameters of productive studied formations [2-5].

As for the wells, which are characterized by unsteady filtration, the methods for their study do not exist either in domestic or in world practice. For more than 40 years this problem has not been resolved in any country in the world. There are various approaches that are not correct, for example, artificially slowing down the process of inflow or restoration of pressure. Such wells are characterized by high productivity, and when such wells are opened to record inflow curves or shut down to remove PRCs, the processes proceed so quickly that operators cannot always record two parameters at the same time - pressure and time or flow rate and time. To solve



this problem, it is necessary to create a method for researching wells under non-stationary filtration conditions and create a methodology for calculating 20 gas-hydrodynamic parameters of the studied formations in gas and gas condensate wells. Moreover, to increase the accuracy of the information received, it is also desirable to obtain it analytically, without using approximate laboratory or geophysical methods.

At present, some fragments of the methodology, which are universal in terms of their application for both research methods (stationary and non-stationary), can be offered now.

As you know, the parameters of a gas condensate formation such as its effective power, porosity and permeability play a particularly significant role in calculating the underground reserves of a gas condensate mixture and preparing a project for developing a field. Therefore, the requirements for the accuracy of finding these indicators should be high.

During analyzing the results of interpretation of gas condensate wells according to the actual data obtained as a result of testing them in 6–7 modes in accordance with the current instructions for researching wells [7–12], it is clear that in order to determine the hydrodynamic parameters of the formations, the calculation formulas are substituted the values of the effective reservoir thickness and porosity are known in advance, that is, as those that were previously determined by laboratory or geophysical methods prior to the study itself. This approach casts doubt on the sufficient accuracy of the calculations. Therefore, an attempt was made to obtain these parameters with greater accuracy by applying analytical methods.

The publication proposes a new methodological approach to determining the effective thickness h of the gas condensate reservoir and porosity m due to the fact that the most accurate method is used for this - the analytical one. The value of the method is not only in improving accuracy, but also in the fact that, thanks to this methodological approach, it became possible to study wells in only one actually worked out mode instead of several, as required by the current instructions for well research, and to work out only one well study mode even in case of non-stationary filtration of gas and gas condensate inflow to the bottom of the well.

The result of numerous attempts to analytically determine the indicated parameters of a productive formation for gas-saturated formations is a function that can be arbitrarily designated as F [5, 6], which is a product of reservoir capacity and conductivity, namely $F = \psi m^2 h^2$, where F is the product of reservoir capacity and conductivity (parabola), m^4 . The function graph $F = \psi m^2 h^2$ is shown in Figure 1.

The first derivative of the function F with mh at the final point M , characterizing the hydro-gas-dynamic parameters of this formation $\frac{dF}{d(mh)} = F' = 2kh$. The tangent to the curve $F = \psi m^2 h^2$ at the point M cuts off the segment OF on the abscissa axis. For a particular formation, the angles A , B , C (see Fig. 1) are characterized by the values of their tangents, they can be considered by the formulas:

$$\operatorname{tg} A = 2kh \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} B = \frac{1}{kh} \quad (2)$$



$$\operatorname{tg} C = \frac{1}{kh} \quad (3)$$

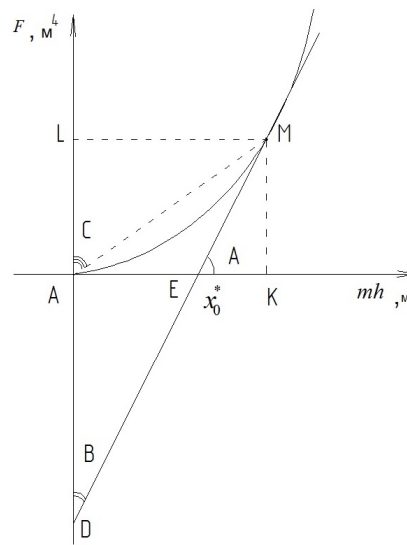


Fig. 1. Function $F = \psi m^2 h^2$ for determining the effective thickness of the gas reservoir

The effective thickness of the gas saturated formation is calculated by the formula:

$$h = \frac{dF}{d(mh)} \cdot \frac{1}{\psi(m_1 + m_2)} \quad (4)$$

where $\frac{dF}{d(mh)}$ is the first derivative F of the function mh with at the point, m^3 ;

h - the effective thickness of the gas saturated formation, m;

m_1, m_2 - the limit of the smallest (possible) and largest (possible) porosity for a given reservoir, part of a unit.

The values m_1 and m_2 of and are determined by the graph constructed in the coordinates (k, ψ) . To plot the function $k = f(m, \psi)$, about 300 determinations of porosity and permeability were used, obtained by laboratory methods in the analysis of rock samples.

The conductivity of the reservoir is calculated by the formula:

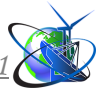
$$kh = \left(\frac{kh}{\mu} \right) \cdot \mu \quad (5)$$

where $\frac{kh}{\mu}$ is the gas-wellness of the formation zone remote from the well is calculated when processing the pressure recovery curve, $\frac{m^3}{Pa \cdot s}$;

μ - dynamic viscosity of the gas in reservoir conditions $Pa \cdot s$.

The reservoir capacity mh is calculated by the formula (6) using the previously calculated parameter ψ .

$$mh = \frac{kh}{\psi} \quad (6)$$



where mh is the reservoir capacity, m .

The coefficient of porosity m and permeability k is calculated by the formulas, respectively.

$$m = \frac{mh}{h} \quad (7)$$

$$k = \frac{kh}{h} \quad (8)$$

Similarly for gas condensate systems, such a function is a function f that connects the reservoir capacity mh and permeability k and is equal to their product:

$$f = mh \cdot k \quad (9)$$

If we analyze the obtained function, then taking into account the fact that the reservoir capacity is equal to twice the value of x_0^* [7], we can write it differently:

$$f = mh \cdot k = 2x_0^* \cdot k = \frac{2x_0^*}{m} \cdot km = \left[\frac{2x_0^*}{m} \right] \cdot mk \quad (10)$$

If we say the notation $mk = x$ and take into account that $\psi = \frac{k}{m}$, then equation (10) transforms into the following:

$$2x_0^* \cdot k = 2x_0^* \cdot \psi m = \left[\frac{2x_0^*}{m} \right] \cdot x \quad (11)$$

Having solved it relatively m , we get $2x_0^* \psi m^2 = 2x_0^* \cdot x$ where we have:
 $m = \sqrt{\frac{x}{\psi}} = \frac{\sqrt{x}}{\sqrt{\psi}}$. Substituting the obtained expression for porosity in the formula (10), we obtain: $f = \frac{2x_0^* x \sqrt{\psi}}{\sqrt{x}}$ or:

$$f = 2x_0^* \sqrt{x\psi} \quad (12)$$

To get rid of the radical, we lift both sides of the equation into a square and get:

$$f^2 = 4x_0^{*2} x \psi = 4(x_0^*)^2 x \psi = 2 \left[2(x_0^*)^2 \psi \right] \cdot x \quad (13)$$

It can be seen that this is a parabola with a focal parameter $p_f = 2x_0^* \psi$. Then, half the magnitude of the focal parameter is equal to the distance from the origin to the focus of the parabola (focus abscissa): $\frac{p_f}{2} = x_0^* \psi$. It follows that $p_f = 2x_0^* \psi$, that is x_0^* :

$$x_0^* = \sqrt{\frac{p_f}{2\psi}} = \sqrt{\frac{p_f m}{2k}} \quad (14)$$

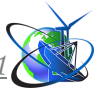
The function graph f is shown in fig. 2.

The first derivative f of the function mk with respect to (parabola OAB) on the informative area ab is equal to half the effective thickness of the reservoir:

$$\frac{df}{d(mk)} = \frac{1}{2} h \quad (15)$$

where h is the effective thickness of the reservoir, m;

m - porosity coefficient of the reservoir, the fraction of the unit;



k - the permeability coefficient of the reservoir, m^2 ;

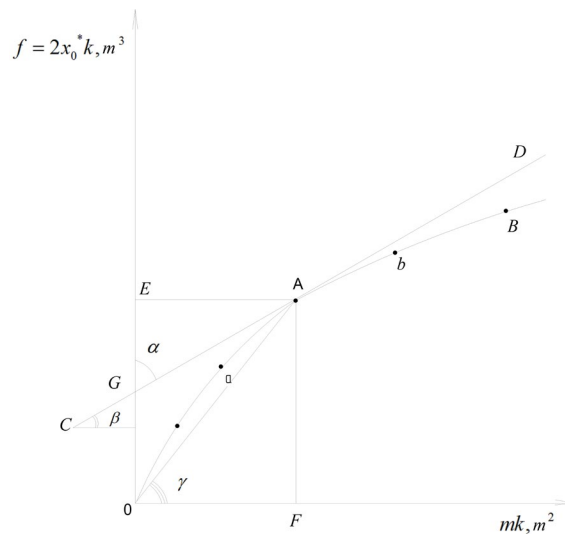


Fig. 2. Function $f = 2x_0^* k$ for determining the effective thickness of the gas condensate reservoir

Fig. 2 shows that

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2}{h} \quad (16)$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{df}{d(mk)} = \frac{1}{2} h \quad (17)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = h \quad (18)$$

The ordinate of points A and E in Fig. 1 is numerically equal to the product of reservoir capacity and permeability. The abscissa of the point F is equal to the product of the real values of the coefficients of porosity and permeability of a given reservoir. The tangent CAD to the parabola at point A is inclined at an angle β whose tangent, as shown in formula (9), is numerically equal $\frac{1}{2} h$. In practice, in order to calculate the effective thickness of the reservoir h , it is first necessary to isolate the informative section of the parabola ab (Fig. 2). The abscissa of point a can be calculated if it is conditionally accepted that the perforation interval (or open borehole) is equal to the effective thickness of the reservoir. The abscissa of point b can be determined from the upper envelope of the array of values $k = f(\psi, m)$ for a fixed (real for a given reservoir) sense $\psi = \frac{k}{m}$. The value $\psi = \frac{k}{m}$ is determined by the formula $\psi = \frac{k}{m} = \frac{\alpha \cdot \mu}{P_{ni}}$ [13]. A section of the parabola is leveled, processing mathematically, for example, by the method of least squares. The result is a value $\operatorname{tg} \beta$, that is a value $\frac{1}{2} h$.

From the known value of the effective thickness of a productive gas condensate formation, it is not difficult to find the values of permeability k and porosity m coefficients, using the complex conductivity kh and capacitance mh parameters that



have already been determined. It should be noted that the complex conductivity parameter kh is easily determined by the complex parameter of hydro gas presence in the remote zone of the reservoir $\frac{kh}{\mu}$, obtained by processing the remote zone of the reservoir pressure recovery curve (PRC) by the method of E.B. Chekalyuk [8], simply multiplying it by the dynamic viscosity of the fluid in reservoir conditions μ . According to the complex parameter of the capacitance of the leading layer is determined from the previously determined value $\psi = \frac{k}{m} = \frac{kh}{mh}$ and the known value of the complex parameter kh . Thus, by determining the complex parameters of conductivity kh and capacity mh , it is possible to easily determine the permeability k and porosity m by simply dividing them by the already invented value of the effective thickness of the reservoir h .

This method of calculating gas hydrodynamic parameters for a gas saturated formation was applied to interpret the actual data from the study of the wells of Matveevsky and Kaverdinsky squares under steady-state conditions and Maryinsky square under unsteady filtration regimes. As a result, according to the data of only one research mode, more than 20 parameters of the studied reservoir were obtained.

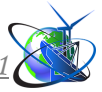
Thanks to the new method of researching gas and gas condensate wells in only one stationary or non-stationary research mode, the components of the economic effect can be considered:

- determination of 20 gas-hydrodynamic parameters of the studied wells with increased accuracy (analytically)
- saving time for working out 1 research mode compared with the time for working out several modes;
- savings if the well did not work in a gas pipeline, but for emission into the atmosphere, and preservation of the ecology of the environment;
- saving time on the mathematical interpretation of the research results due to the created mathematical model for calculations.

Currently, research methods for gas and gas condensate wells in the case of stationary and non-stationary filtration are protected by patents of Ukraine [3,13]. The prospect of these methods also lies in the fact that they can be used in the study of productive wells, if the tests are carried out in an open wellbore in trial operation. Therefore, both methods can be considered not only progressive but also have prospects for the future, due to the need to explore and develop new productive deposits.

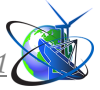
Conclusions.

Based on the fact that the use of methods for researching gas or gas condensate wells for stationary or unsteady filtration of products before well borehole only in one mode provides significant advantages over traditional research methods, it would be bolder to make attempts to put them into practice in industrial practice. This would save time on research, reduce the funds for work and, most importantly, increase the reliability of the information obtained at the same time about the studied formations, which is the basis for calculating gas reserves [14].



Литература:

1. Методи обробки промислових даних при дослідженні газових та газоконденсатних свердловин при нестаціонарному режимі фільтрації: матеріали наук.-техн. конф. [«Нафтогазова енергетика 2013»], (Івано-Франківськ, 7 - 11 жовт. 2013 р.) / М-во освіти та науки України, Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. – І-Ф.: Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 2013. – С. 507 - 512.
2. Матус Б.А., Рой М.М., Ластовка Ю.В., Ластовка В.Г., Попенко С.В. Про можливість дослідження свердловин на одному стаціонарному режимі //Збірник наукових праць УкрДГРІ – Київ. - 2005. №2. – С. 210-211.
3. Пат. 51729 Україна, МПКЗ E21B 47/06. Спосіб дослідження газових свердловин / Матус Б.А., Курилюк Л.В., Славін В.І., Горлачова Л.Ф., Токарев В.П., Клименко Ю.О.; заявник і патентовласник Матус Б.А. – № U 200601237; заявл. 01.04.99; опубл. 16.12.02, Бюл. №12.
4. Акульшин О.О., Рой М.М. «Підвищення ефективності дослідження газових та газоконденсатних свердловин» // Проблеми нафтогазової промисловості. – 2011 р., №9. – С. 227-234.
5. Акульшин О.О., Рой М.М. Використання розрахункових і аналітичних методів під час дослідження газоконденсатних свердловин // Нафтова і газова промисловість. – 2008р., №4. – С. 40-41.
6. Инструкция по исследованию газовых скважин. – М.: Гостоптехиздат, 1961. 110 с.
7. Зотов Г.А. Газогидродинамические методы исследования газовых скважин / Г.А. Зотов., С.М. Твердовкин – М.: Недра, 1970. – 192 с.
8. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных скважин. – М.: Недра, 1971. – 208 с.
9. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных скважин. – М.: Недра, 1971.- 208с.
10. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин:[під ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева]. – М.: Недра, 1980. – 301 с.
11. Руководство по исследованию скважин / [Гриценко А.И., Алиев З.С., Ермилов О.М., и др.] . – М.: Наука, 1995. – 523 с.
12. Чекалюк Э.Б. Основы пьезометрии залежей нефти и газа / Э. Б. Чекалюк. – К.: Государственное издательство технической литературы УССР, 1961. – 286 с.
13. Патент №121860 Україна, МПК(2017.01) E21B 47/00 Спосіб дослідження високопродуктивних газових та газоконденсатних свердловин при нестаціонарному режимі фільтрації / Рой М.М.; заявник і власник Рой М.М.; заявл. 09.02.2017; опубл. 26.12.2017; Бюл.№ 24.
14. Патент України № 110657. Спосіб попередньої оцінки величини початкових запасів газу. Рой М.М. Заявл. 04.03.2016; опубл. 25.10.2016, бюл. №20.



Анотація. Виходячи з аналізу стану робіт з досліджень газових свердловин у промисловій практиці з точки зору складності, затратності, тривалості, екологічного аспекту виявлено, що позитивними можна вважати виконання робіт з дослідження свердловин у випадку стаціонарної фільтрації за традиційною технологією чи на технологією на одному фактично відпрацьованому режимі дослідження. У випадку дослідження високопроникних пластів, що характеризуються нестаціонарною фільтрацією, дослідження базується на отриманні кривих відновлення тиску і застосування математичних прийомів для отримання з допомогою інтерпретації отриманих даних потрібної інформації про досліджувані пласти. Наголошується необхідність створення способу дослідження та методики інтерпретації отриманих при цьому даних і наведені деякі елементи методики розрахунку газогідродинамічних параметрів продуктивних газових та газоконденсатних свердловин для випадку нестаціонарної фільтрації продукції до вибою свердловини..

Ключові слова: дослідження свердловин, методика інтерпретації, стаціонарні режими, нестаціонарні режими.

Стаття отправлена: 12.06.2020 г.

© Рой В.В., Акульшин О.О., Соловйов В.В., Усенко Д.В., Шкіль Д.А.



УДК 338.45:620.9.

COMPLIANCE OF UKRAINE'S RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT WITH CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT ВІДПОВІДНІСТЬ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ УМОВАМ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Doronina I.I. /Дороніна І.І.,

PhD in Economics/к.е.н.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7032-644X>

Київський національний економічний університет

імені Вадима Гетьмана, Київ, пр. Перемоги 54/1, 03057

Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman",

Kyiv, 54/1 Prospect Peremogy, 03057

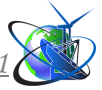
Анотація. У роботі розглянуто реформування енергетичного сектору України в умовах сталого розвитку. З'ясовано причинно-наслідковий зв'язок потужностей «зеленої» генерації, споживання енергії та виплат за «зеленим» тарифом. Досліджено Директиви ЄС та визначено основні принципи підтримки розвитку відновлюваних джерел енергії. На даний час, незбалансованість розвитку енергетичного сектору України не відповідає умовам сталого розвитку. Визначено, що підтримка розвитку відновлюваної енергетики повинна відбуватись в комплексі з процесом трансформації паливно енергетичного комплексу загалом.

Ключові слова: відновлювана енергетика, сталий розвиток, збалансованість, «зелений» тариф.

Вступ.

Реформування енергетичного сектору України залишається ключовим фактором стимулювання стійкого зростання економіки держави. Україна виступає стратегічним гравцем у сфері транзиту та є одним із найбільших виробників вуглеводнів в Європі. Подій 2014 року, що призвели до перебоїв та дефіциту енергії, підштовхнули до здійснення реформ в енергетичному секторі. Уряд України впроваджує зміни у різних секторах паливно-енергетичного комплексу через дерегуляцію тарифів, приватизацію та вдосконалення корпоративного управління. З метою забезпечення відповідності стандартам ЄС та стимулювання процесу об'єднання ринків прийнято Закон України «Про ринок природного газу» від 09.04.2015 р. № 329-VIII та Закон України «Про ринок електроенергії» від 13.04.2017р. № 2019-VIII. Окрім цього, розпочато роботу в напрямку відокремлення державних підприємств та збільшення частки відновлюваних джерел у структурі енергоресурсів.

Розпочато ліквідацію та приватизацію державних вугільних шахт та збільшення частки відновлюваних джерел у структурі енергоресурсів, однак, й надалі залишаються невирішені проблеми щодо стабільності та безпеки в енергетичному секторі. Державні підприємства зберігають домінуючу роль у виробництві енергії. Електроенергія виробляється в першу чергу державними атомними та гідроелектростанціями. На енергетичному ринку з'явилися приватні компанії теплової та вугільної генерації. За останні десять років (особливо після впровадження «зелених» тарифів) - сформувалась велика кількість приватних компаній у галузі відновлюваної енергетики.



Основний текст.

В умовах зростаючого тренду декарбонізації, почалось формування нової галузі - відновлювана енергетика. Україна, як член Енергетичного Співтовариства, слідує рекомендаціям зазначеним у Директивах ЄС. Згідно Директив ЄС щодо відновлюваних джерел енергії [1,2], сприяння розвитку відновлюваних джерел енергії є однією із цілей енергетичної політики країн Євросоюзу. Розширене використання відновлюваної енергії являється важливою частиною пакету заходів, необхідних для зменшення викидів парникових газів та виконання зобов'язань ЄС згідно Паризької угоди про зміну клімату. У вищезазначених документах визначені схеми підтримки розвитку відновлюваних джерел енергії та наголошено на збалансованому підході. Впровадження стимулюючих інструментів повинно супроводжуватися системною роботою по розвитку галузі, реальною декарбонізацію в межах країни та не спричиняти кризові явища в паливно-енергетичному комплексі. Саме принципи збалансованості та дружності до екології й відображаються у термінах «зелена» енергетика та «зелений» тариф.

Однак, стрімке та неконтрольоване збільшення потужності відновлюваної енергетики (Рис.1) в рамках застарілої моделі енергетичного сектору та економічно-необґрунтовано високого «зеленого» тарифу призвело до того, що потужність об'єктів відновлюваної енергетики зросла втричі, без істотної модернізації паливно-енергетичного комплексу. Аналіз енергетичного балансу України показує спад споживання електроенергії, що спричинений закриттям виробництв, теплими погодними умовами, карантинними заходами та стагнацією економіки.

Розвиток об'єктів ВДЕ в Україні по роках

Встановлена потужність об'єктів відновлюваної електроенергетики, МВт
(станом на 01.01.2020 року)

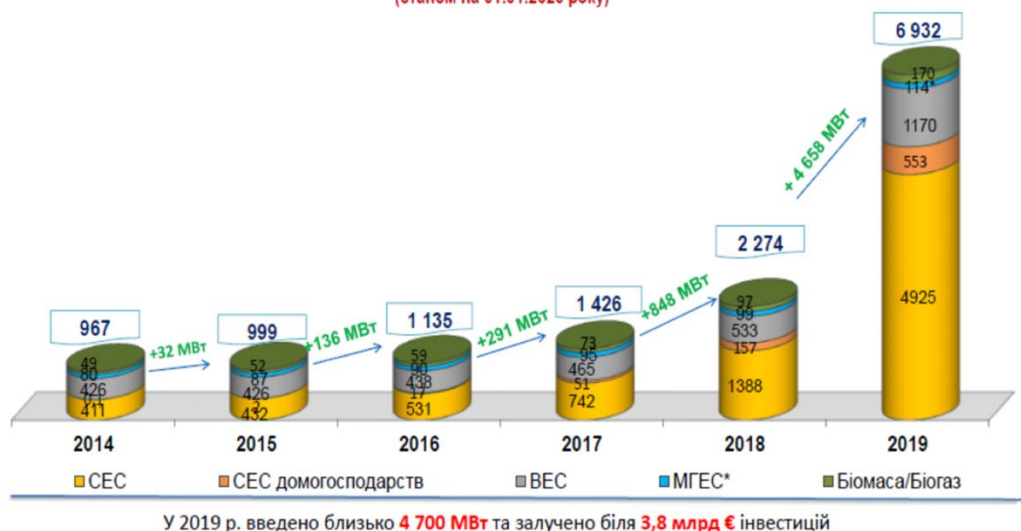
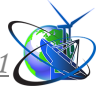


Рис.1 Розвиток об'єктів ВДЕ в Україні по роках

Джерело [3]

Стрімка та нестала тенденція зростання «зеленої» генерації спричинила ряд кризових явищ в енергетичній, економічній, екологічній та політичній



сферах України.

Заборгованість по виплатах «зеленого» тарифу перевищила 10 млрд грн. станом на червень 2020 року [4]. Причиною такої заборгованості став механізм гарантування 100 % викупу Державним підприємством (далі – ДП) «Гарантований покупець» згенерованої електричної енергії з відновлюваних джерел. Однак, надходження коштів на рахунки ДП «Гарантований покупець» йдуть з бюджету іншого ДП «Укренерго», а саме, з тарифу «на передачу» електричної енергії. Враховуючи кризу споживання, все менше енергії транспортується, відповідно зменшуються надходження. У 2019 році генерація енергії з відновлюваних джерел виросла у три рази, а надходження коштів до ДП «Гарантований покупець» зменшились на 15%. Частка потужності відновлюваних джерел енергії (далі - ВДЕ) в енергетичному пакеті складає близько 5%, а доля грошових зобов'язань усього ринку електричної енергії - 25% [4]. Також, високий «зелений» тариф прикріплений до дорогої вартості обладнання, однак, така вартість в останні роки значно зменшилась. Таким чином, асиметричний (непропорційний) фактор збільшення потужності, зменшення споживання та виплат не відповідає головному принципу сталого розвитку – принципу збалансованості.

Відповідно до законодавчої бази Третього енергетичного пакету ЄС підтримка розвитку ВДЕ повинна відбуватись в комплексі з процесом трансформації та удосконалення всього паливно енергетичного комплексу. Як, наприклад, необхідно запроваджувати системи накопичення енергії та елементи балансування генерації ВДЕ, що дадуть змогу системно генерувати енергію й балансувати природні фактори. На даний час, генерація «зеленої» енергії є необмеженою, ні об'ємом встановленої потужності однієї станції, ні загальною кількістю генерації в межах однієї території, ні доцільністю локації об'єктів ВДЕ в певному регіоні. Тому, виходячи з можливостей нової генерації, потрібно встановлювати квоти для більш сталого та децентралізованого впровадження ВДЕ в регіонах, а також, законодавчо впровадити обов'язковість систем накопичення енергії для всіх об'єктів ВДЕ.

Необхідно відзначити, що системний підхід до розвитку ВДЕ та підвищення ефективності, надійності роботи енергосистеми Україна має включати наступні заходи:

- географічне рознесення потужностей (малі вітропарки, дахові сонячні електростанції), що дозволить зменшити нерівномірність графіку виробництва електроенергії. Розподілена генерація потребує додаткового нетарифного стимулювання, зокрема, необхідно зробити підключення більш простим та доступним для об'єктів малої потужності (до 1 МВт);
- створення умови для забезпечення балансування об'єктів відновлюваної енергетики та мікромереж;
- залучати споживачів до балансування та впроваджувати ринкові та не ринкові механізми керування попитом на електроенергію;
- впроваджувати інноваційні пілотні проекти та сприяти залученню інвестицій в нові технології зберігання та перетворення енергії.



В зазначених умовах, виникає необхідність формування ефективного комплексного підходу розвитку галузі відновлюваної енергетики в Україні.

Висновки.

Серйозність та гострота проблем забруднення повітря, змін клімату та енергетична безпека, а також численні переваги сучасних технологій децентралізованої відновлюваної енергетики, вимагають невідкладної трансформації енергетичної інфраструктури в Україні. Перехід енергетики на чисту та безпечну відновлювану енергію дозволить побудувати сильну економіку країни, вирватися з соціально-економічного занепаду та допомоги міжнародної спільноти, підвищити безпеку та добробут своїх громадян.

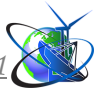
Збалансованість розвитку паливно-енергетичного комплексу та визнання відновлюваної енергетики - як повноцінної галузі, яка впливає на життєдіяльність людини, а також, формування відповідного державного регулювання є тими індикаторами, що забезпечать відповідність розвитку відновлюваної енергетики України умовам сталого розвитку.

Література

1. Directive 2009/28/ec of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>
2. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589971037671&uri=CELEX:32018L2001>
3. Енергоефективність та «зелена» енергетика України: здобутки 5 останніх років та наступні цілі. *Держенергоефективності*. URL: https://saee.gov.ua/sites/default/files/Savchuk_SAEЕ_16.11.2019.pdf
4. Енергетична безпека країни в умовах надзвичайної ситуації та подальший вихід із кризи. *Онлайн-зустріч Європейська бізнес асоціація*. URL: <https://eba.com.ua/video/energetychna-bezpeka-krayny-v-umovah-nadzvychajnoyi-sytuatsiyi-ta-podalshyj-vyhid-iz-kryzy/>

References

1. Directive 2009/28/ec of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>
2. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589971037671&uri=CELEX:32018L2001>
3. Enerhoefektyvnist ta «zelena» enerhetyka Ukrainy: zdobutky 5 ostannikh rokiv ta nastupni tsili [Energy efficiency and "green" energy of Ukraine: the achievements of the last 5 years and the following goals]. *Derzhenerhoefektyvnosti*. Retrieved from: https://saee.gov.ua/sites/default/files/Savchuk_SAEЕ_16.11.2019.pdf
4. Enerhetychna bezpeka krainy v umovakh nadzvychainoi situatsii ta podalshyi vykhid iz



kryzy [Energy security of the country in an emergency situation and further exit from the crisis/ Onlain-zustrich Yevropeiska biznes asotsiatsiia. Retrieved from: <https://eba.com.ua/video/energetychna-bezpeka-krayiny-v-umovah-nadzvyhajnoyi-sytuatsiyi-ta-podalshyj-vyhid-iz-kryzy/>

Abstract. *The paper considers the reform of the energy sector of Ukraine in terms of sustainable development. The causal relationship between green generation capacity, energy consumption and green tariff payments has been clarified. The EU Directives are studied and the basic principles of supporting the development of renewable energy sources are defined. At present, the imbalance in the development of Ukraine's energy sector does not meet the conditions of sustainable development. It is determined that the support of renewable energy development should be combined with the process of transformation of the fuel and energy complex in general.*

Balanced development of the fuel and energy complex and recognition of renewable energy as a full-fledged industry that affects human life, as well as the formation of appropriate state regulation are the indicators that will ensure compliance with the development of renewable energy in Ukraine.

Key words: *renewable energy, sustainable development, balance, "green" tariff.*

Статья отправлена: 19.06.2020 г.

© Дороніна І.І.



Expert-Peer Review Board of the journal Экспертно-рецензионный Совет журнала

Abdulveleeva Rauza Rashitovna, Orenburg State University, Russia
Antoshkina Elizaveta Grigorevna, South Ural State University, Russia
Artyuhina Marina Vladimirovna, Slavic State Pedagogical University, Ukraine
Afinskaya Zoya Nikolaevna, Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Russia
Bashlaj Sergej Viktorovich, Ukrainian Academy of Banking, Ukraine
Belous Tatyana Mihajlovna, Bukovinian State Medical Academy, Ukraine
Bondarenko Yuliya Sergeevna, PSU named after T.G. Shevcheckko Department of Psychology, Ukraine
Butyrskij Aleksandr Gennadevich, Medical Academy named after S.I. Georgievsky, Russia
Vasilishin Vitalij Yaroslavovich, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine
Vojcehovskij Vladimir Ivanovich, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
Gavrilova Irina Viktorovna, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Russia
Ginis Larisa Aleksandrovna, South Federal University, Russia
Gutova Svetlana Georgievna, Nizhnevartovsk State University, Russia
Ivanova Svetlana Yurevna, Kemerovo State University, Russia
Ivlev Anton Vasilevich, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, Russia
Idrisova Zemfira Nazipovna, Ufa State Aviation Technical University, Russia
Iliev Veselin, Bulgaria
Kirillova Tatyana Klimentevna, Irkutsk State Transport University, Russia
Kovalenko Tatyana Antolevna, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Russia
Kotova Svetlana Sergeevna, Russian State Vocational Pedagogical University, Russia
Krestyanpol Lyubov Yurevna, Lutsk State Technical University, Ukraine
Kuhtenko Galina Pavlovna, National University of Pharmacy of Ukraine, Ukraine
Lobacheva Olga Leonidovna, Mining University, Russia
Lyashenko Dmitrij Alekseevich, National Transport University, Ukraine
Makarenko Andrej Viktorovich, Donbass State Pedagogical University, Ukraine
Melnikov Aleksandr Yurevich, Donbass State Engineering Academy, Ukraine
Moroz Lyudmila Ivanovna, "National University" "Lviv Polytechnic" "", Ukraine
Muzylyov Dmitrij Aleksandrovich, Kharkov National Technical University of Agriculture named after Petr Vasilenko, Ukraine
Nadopta Tatyana Anatolievna, Khmelnytsky National University, Ukraine
Napalkov Sergej Vasilevich, Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky, Russia
Nikulina Evgeniya Viktorovna, Belgorod State National Research University, Russia
Orlova Anna Viktorovna, Belgorod State National Research University, Russia
Osipov Viktor Avenirovich, Tyumen State University, Russia
Privalov Evgenij Evgrafovich, Stavropol State Agrarian University, Russia
Pyzhyanova Nataliya Vladimirovna, Ukraine
Segin Lyubomir Vasilovich, Slavic State Pedagogical University, Ukraine
Sergienko Aleksandr Alekseevich, Lviv National Medical University named after Daniil of Galitsky, Ukraine
Sochinskaya-Sibirceva Irina Nikolaevna, Kirovograd State Technical University, Ukraine
Sysoeva Vera Aleksandrovna, Belarusian National Technical University, Belarus
Tleuov Ashat Halilovich, Kazakh Agro Technical University, Kazakhstan
Tolbatov Volodimir Aronovich, Sumy State University, Ukraine
Tolbatov Sergij Volodimirovich, Sumy National Agrarian University, Ukraine
Hodzhaeva Gyulnaz Kazym kyzy, Russia
Chigirinskij Yulij Lvovich, Volgograd State Technical University, Russia
Shehmirzova Andzhela Muharbievna, Adygea State University, Russia
Shpinkovskij Aleksandr Anatolevich, Odessa National Polytechnic University, Ukraine

**CONTENTS / СОДЕРЖАНИЕ****Mechanical engineering and machinery****Машиностроение и машиноведение**

http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-015	5
THE CONCEPT OF OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF AGRICULTURAL PRODUCTION	
<i>КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА</i>	
<i>Piskun V.I./Піскун В.І., Yatsenko Yu. V./Яценко Ю.В., Yatsenko Yu. Yu./Яценко Ю.Ю.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-021	13
IMPROVEMENT OF VISCOSITY MEASUREMENT OF NEWTONIAN FLUIDS	
<i>УДОСКОНАЛЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ НЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН</i>	
<i>Andreiev I.A./Андреев І.А., Koval V.O./Коваль В.О.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-023	19
IMPROVEMENT OF MEASUREMENT OF VISCOSITY OF CONCRETE MIXTURES DURING VIBRO EXTRUSION	
<i>УДОСКОНАЛЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ В'ЯЗКОСТІ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ ПРИ ВІБРОЕКСТРУЗІЇ</i>	
<i>Andreiev I.A./Андреев І.А., Kramar A.V./Крамар О.В.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-033	26
ANALYSIS OF SIGNIFICANT TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE PROCESS CUTTING SHOE UPPER DETAILS	
<i>АНАЛІЗ ВАГОМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОЗКРОЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ</i>	
<i>Rosul.R./Росул Р.В., Rosul.O./Росул О.Р.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-034	33
PROCESSING MODULE OF MOBILE AGRO-FOOD TECHNOLOGICAL COMPLEX ACCORDING TO THE CONCEPT "CONVENIENT FOOD"	
<i>МОДУЛЬ ПЕРЕРОБКИ МОБІЛЬНОГО АГРАРНО-ХАРЧОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ «ЗРУЧНА ЇЖА»</i>	
<i>Naumenko O.P./Науменко О.П., Kovalyov S.V./Ковальов С.В.</i>	
http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-053	38
SIMULATION OF THE PROCESS OF SCREW EXTRUDER FEEDING WITH GRANULAR POLYMERIC RAW MATERIAL	
<i>МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЖИВЛЕННЯ ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЕКСТРУДЕРА ГРАНУЛЬОВАНОЮ ПОЛІМЕРНОЮ СИРОВИНОЮ</i>	
<i>Vytvytskyi V.M./Витвицький В.М., Mikulionok I.O./Мікульонок І.О., Sokolskyi O.L./Сокольський О.Л.</i>	



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-084> 45

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF AN EXPLOSION CAUSED BY
ELECTROHYDRAULIC DISCHARGE IN A COMPRESSED LIQUID

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИБУХУ, ВИКЛИКАНОГО ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ
РОЗРЯДОМ В СТИСКУВАНІЙ РІДИНІ

Zaporozhets Y.V./Запорожець Ю.В., Burlaka T.V./Бурлака Т.В.

Electrical engineering

Електротехніка

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-006> 50

DIGITALLY CONTROLLED SPREADER

СПРЕДЕР З ЦИФРОВИМ УПРАВЛІННЯМ

Bondarenko N.O./Бондаренко Н.О., Bondarenko V.M./Бондаренко В.М.,

Isupov V. A./Исупов В.А.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-014> 59

APPLICATION OF BOND GRAPH METHOD FOR STUDY OF DYNAMIC
BEHAVIOR OF ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEXES

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ BOND GRAPH ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ
ПОВЕДІНКИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Kurliak P. O./Курляк П.О.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-079> 65

ELECTRODELESS STUDY OF LOW CONCENTRATIONS OF AQUEOUS NaCl
SOLUTIONS

БЕЗЕЛЕКТРОДНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ NaCl НИЗЬКИХ
КОНЦЕНТРАЦІЙ

Hutsul O.V./Гуцул О.В., Slobodyan V.Z./Слободян В.З.

Electrical engineering. Electronics. Nuclear engineering

Енергетика

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-024> 71

RESEARCH OF THE GAS HEAT-CARRYING AGENT FOR THE
THERMOCHEMICAL CONVERSION OF PLANT BIOMASS

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ТЕПЛОНОСІЯ ДЛЯ ТЕРМОХІМІЧНОЇ
КОНВЕРСІЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

Sklyarenko E.V./Склярєнко Є.В., Vorobiov L.Y./Воробйов Л.Й

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-037> 82

MONITORING OF ELECTRIC POWER SUPPLY PARAMETERS OF
DRILLING EQUIPMENT FOR THE PURPOSE OF ENSURE RELIABILITY

МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ БУРОВОГО ОБЛАДНАННЯ З
МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗАВАРІЙНОСТІ РОБОТИ

Nykolyn U.M./Николин У.М., Nykolyn P.M./Николин П.М.



<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-038>

88

MONITORING THE STATUS OF GAS WELLS AT UNSTEADY FILTRATION MODE STUDIES

*МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОВЫХ СКВАЖИН ПРИ
НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ФИЛЬТРАЦИИ*

Roy M.M./Рой М.М., Akulshin O.O./Акульшин О.О., Solovuyov V.V./Соловйов В.В.

Usenko D.V./Усенко Д.В., Shkil D.A./Шкіль Д.А.

<http://www.moderntechno.de/index.php/meit/article/view/meit12-01-083>

98

COMPLIANCE OF UKRAINE'S RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT WITH CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*ВІДПОВІДНІСТЬ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ УМОВАМ
СТАЛОГО РОЗВИТКУ*

Doronina I.I./Дороніна І.І.



International periodic scientific journal

MODERN ENGINEERING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES

Heutiges Ingenieurwesen und
innovative Technologien

Indexed in
INDEX COPERNICUS
high impact factor (ICV: 84.35)

Issue №12

Part 1

June 2020

Development of the original layout - Sergeieva&Co

Signed: 14.07.2020

Sergeieva&Co
Lußstr. 13
76227 Karlsruhe
e-mail: editor@moderntechno.de
site: www.moderntechno.de



*The publisher is not responsible for the reliability of the
information and scientific results presented in the articles*

With the support of International research
project SWorld
www.sworld.education

