

М. І. Книш, аспірант, Т. О. Суржко, аспірантка

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ БЛОКУ ОЧИСТКИ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ З АНАЛІЗОМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІНОГЕНЕРАТОРІВ В УМОВАХ ЗМІННОГО ТИСКУ І ВИТРАТИ РІДИНИ

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Ключові слова: блок очистки, конструкція, піногенератор, струмень, енергоефективність, тиск, піна.

Вступ. У сучасних технологічних процесах все більшого значення набуває енергоефективність обладнання, що використовується для очищення рідин, зокрема у промислових і виробничих системах. З огляду на постійне зростання вартості енергоресурсів та підвищення екологічних вимог, актуальним є пошук технічних рішень, які дозволяють мінімізувати енергоспоживання без втрати ефективності роботи [1, 3, 11]. Особливо це стосується обладнання, що функціонує за допомогою змінного тиску та витрати, де оптимізація робочих режимів безпосередньо впливає на загальну продуктивність та економічність процесу [2, 5].

Піногенератори, які є складовою частиною блоку очистки промивальної рідини, використовуються для створення піни, що сприяє інтенсифікації процесів очищення [4, 6]. Енергоефективність роботи цих пристроїв визначається здатністю утворювати піну з мінімальними втратами енергії при заданих параметрах тиску та витрати на вході й виході [7, 10]. Одним із ключових завдань сучасної інженерної практики є дослідження впливу змін робочих умов – зокрема тиску та витрати рідини – на ефективність функціонування піногенераторів [8, 9].

У даній роботі проведено чисельне моделювання процесів, що відбуваються в піногенераторах, за допомогою програмного комплексу FlowSimulation (SolidWorks) [13]. На основі отриманих результатів було визначено коефіцієнти енергоефективності при різних режимах роботи, що дозволило ідентифікувати найбільш раціональні параметри експлуатації. Зокрема, досліджено діапазони тиску від 6 до 12 МПа та витрати рідини від 0,001 до 0,025 м³/с. Встановлено, що найвищу ефективність піногенератор демонструє при витраті 0,015 м³/с та тиску 8 МПа, що є оптимальним з погляду співвідношення енергоспоживання до продуктивності [14].

Ці дані мають практичну цінність для розробки нових енергозберігаючих рішень та модернізації існуючих установок очищення, сприяючи підвищенню загальної ефективності виробничих процесів [1, 11, 12, 14].

Обговорення результатів. За допомогою чисельного моделювання в середовищі FlowSimulation (SolidWorks) проведемо аналіз функціонування піногенераторів за різних експлуатаційних режимів. Отримані результати дозволять визначити оптимальні значення витрати рідини та тиску, за яких забезпечується максимальна енергоефективність, що має важливе практичне значення для вдосконалення існуючих систем очищення. Для розрахунку коефіцієнта енергоефективності застосовуємо наступну формулу:

$$C = \frac{p_1 Q_1 + p_2 Q_2}{p_3 Q_3},$$

де p_1, Q_1 – відповідно тиск і витрата рідинного струменя на вході в піногенератор;
 p_2, Q_2 – відповідно тиск і витрата повітряного струменя на вході в піногенератор;
 p_3, Q_3 – відповідно тиск і витрата пінного струменя на виході з піногенератора.

Для розрахунків використано отримані результати за допомогою програми FlowSimulation, що є прикладним модулем SolidWorks.

Проведено дослідження витрати рідини від 0,001 до 0,025 м³/с при різних тисках піни на виході піногенератора.

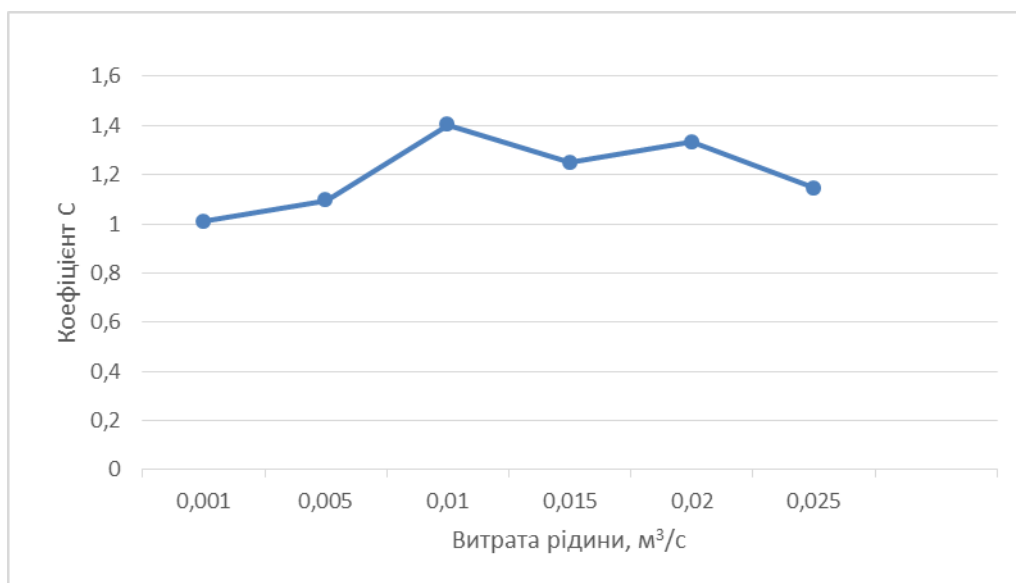


Рисунок 1 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 6 МПа

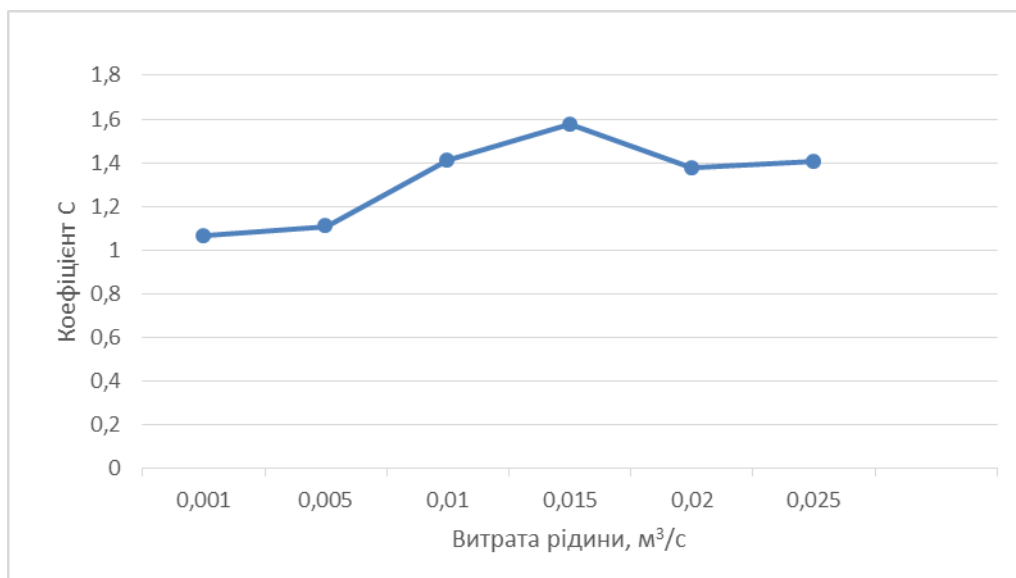


Рисунок 2 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 7 МПа

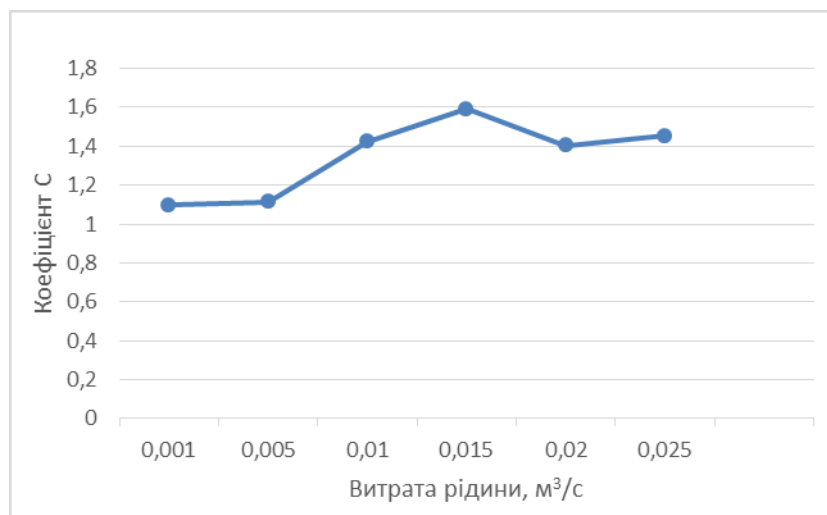


Рисунок 3 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 8 МПа

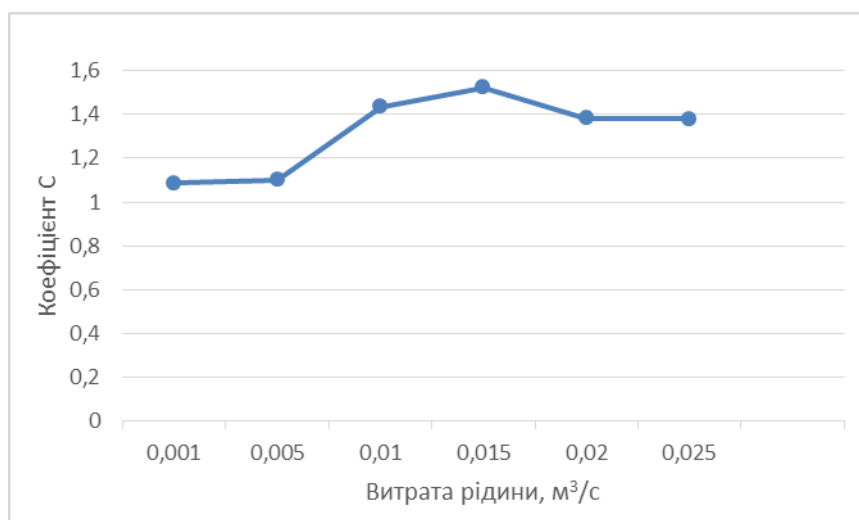


Рисунок 4 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 9 МПа

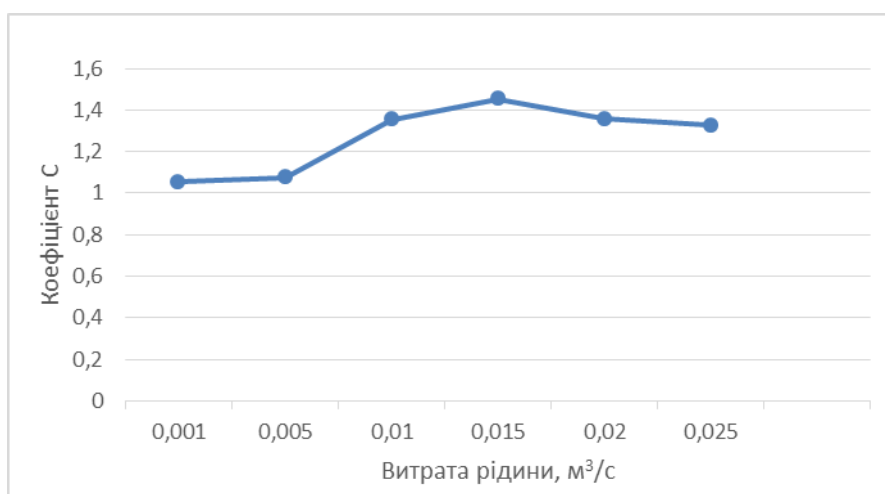


Рисунок 5 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 10 МПа

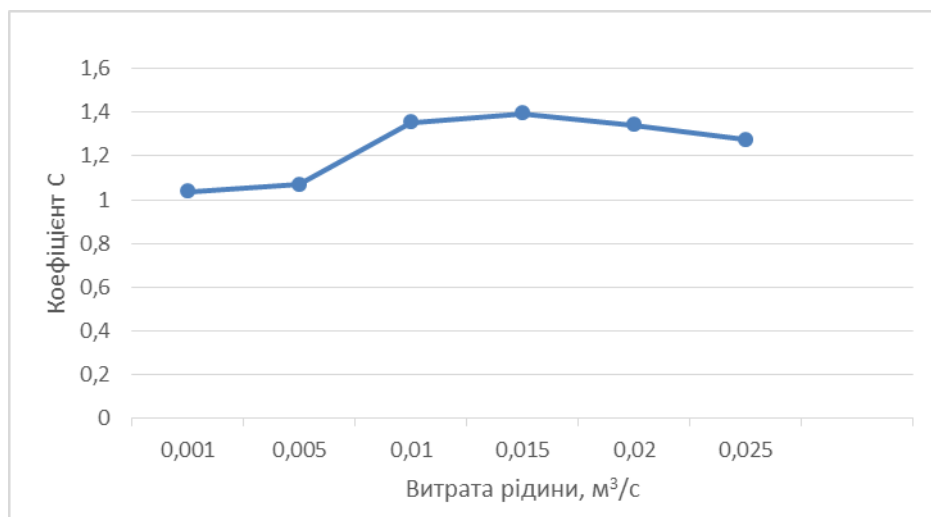


Рисунок 6 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 11 МПа

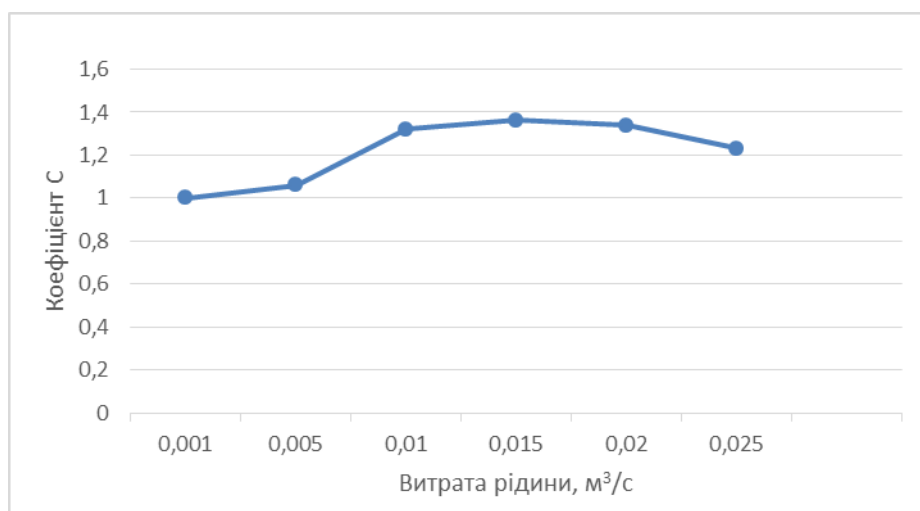


Рисунок 7 – Значення коефіцієнта енергоефективності при тиску піни на виході 12 МПа

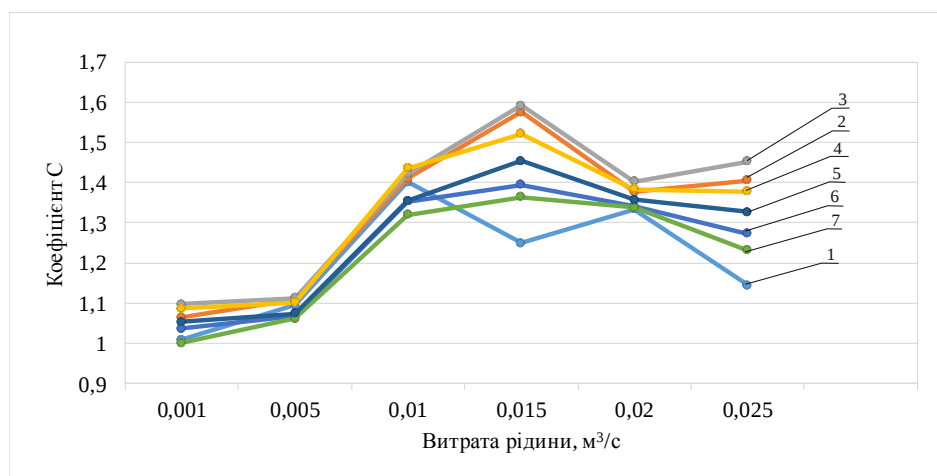


Рисунок 8 – Значення коефіцієнта енергоефективності при різних тисках піни на виході:
1 – 6 МПа; 2 – 7 МПа; 3 – 8 МПа; 4 – 9 МПа; 5 – 10 МПа; 6 – 11 МПа; 7 – 12 МПа

Проведені дослідження (рис. 1–8) підтверджують енергоефективність піногенератора.

Тиск піни на виході змінювався в робочих режимах піногенератора від 6 до 12 МПа. Витрата рідини змінювалась залежно від зміни робочої насадки в соплах піногенератора.

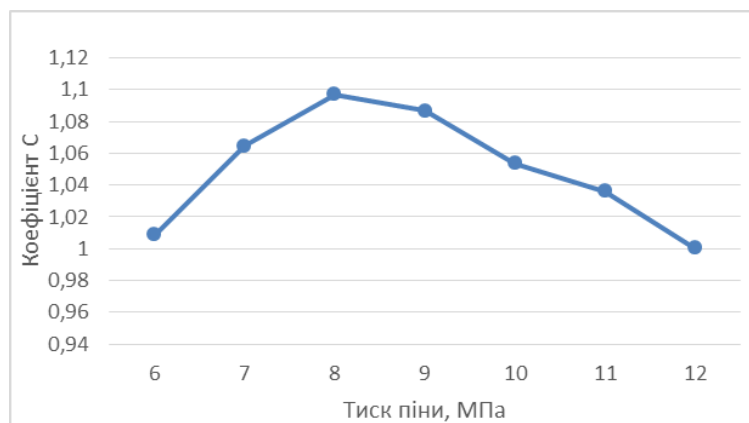


Рисунок 9 – Значення коефіцієнта енергоефективності при витраті рідини 0,001 м³/с

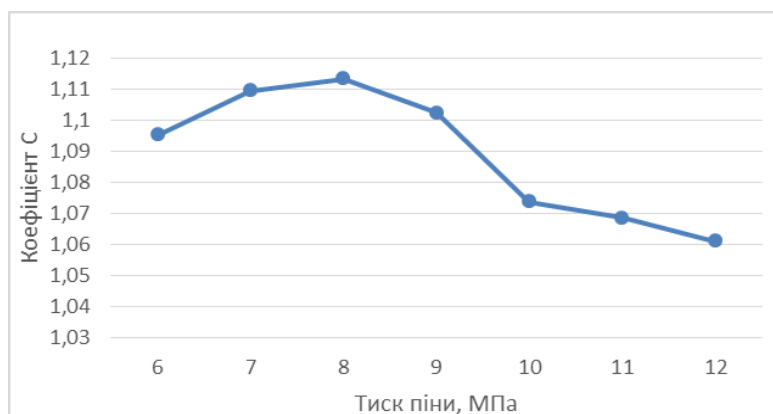


Рисунок 10 – Значення коефіцієнта енергоефективності при витраті рідини 0,005 м³/с

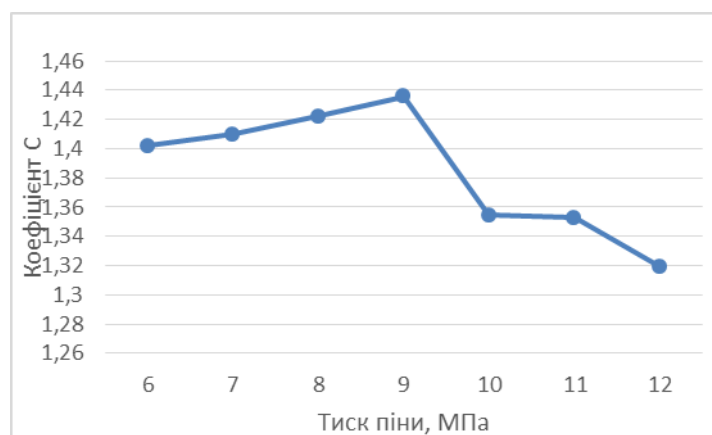


Рисунок 11 – Значення коефіцієнта енергоефективності при витраті рідини 0,01 м³/с

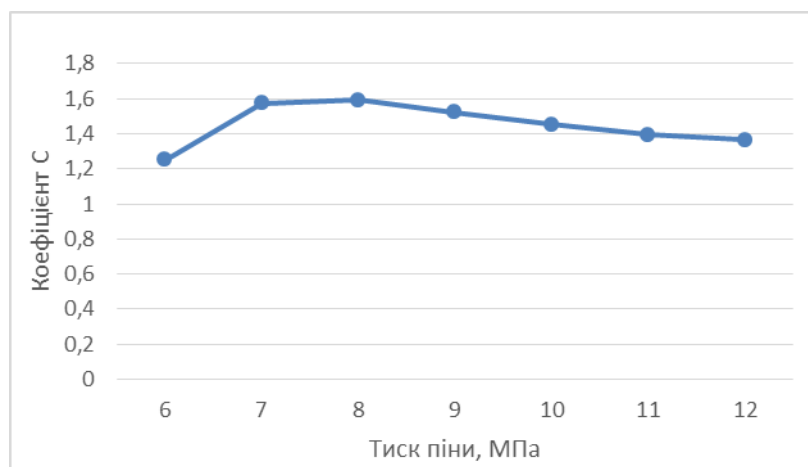


Рисунок 12 – Значення коефіцієнта енергоефективності при витраті рідини 0,015 м³/с

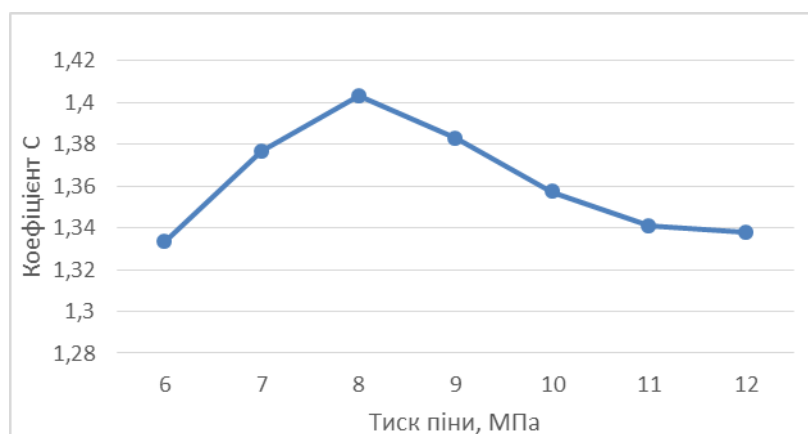


Рисунок 13 – Значення коефіцієнта енергоефективності при витраті рідини 0,02 м³/с

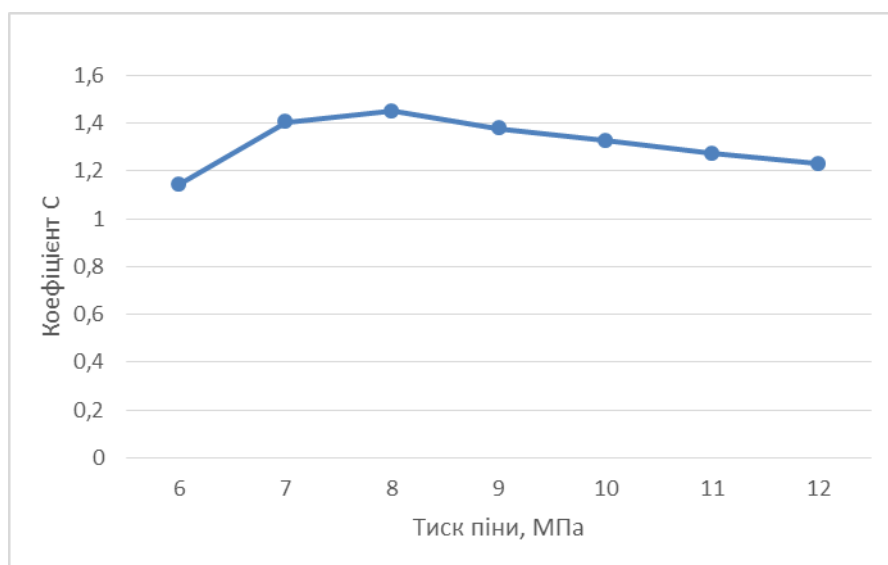


Рисунок 14 – Значення коефіцієнта енергоефективності при витраті рідини 0,025 м³/с

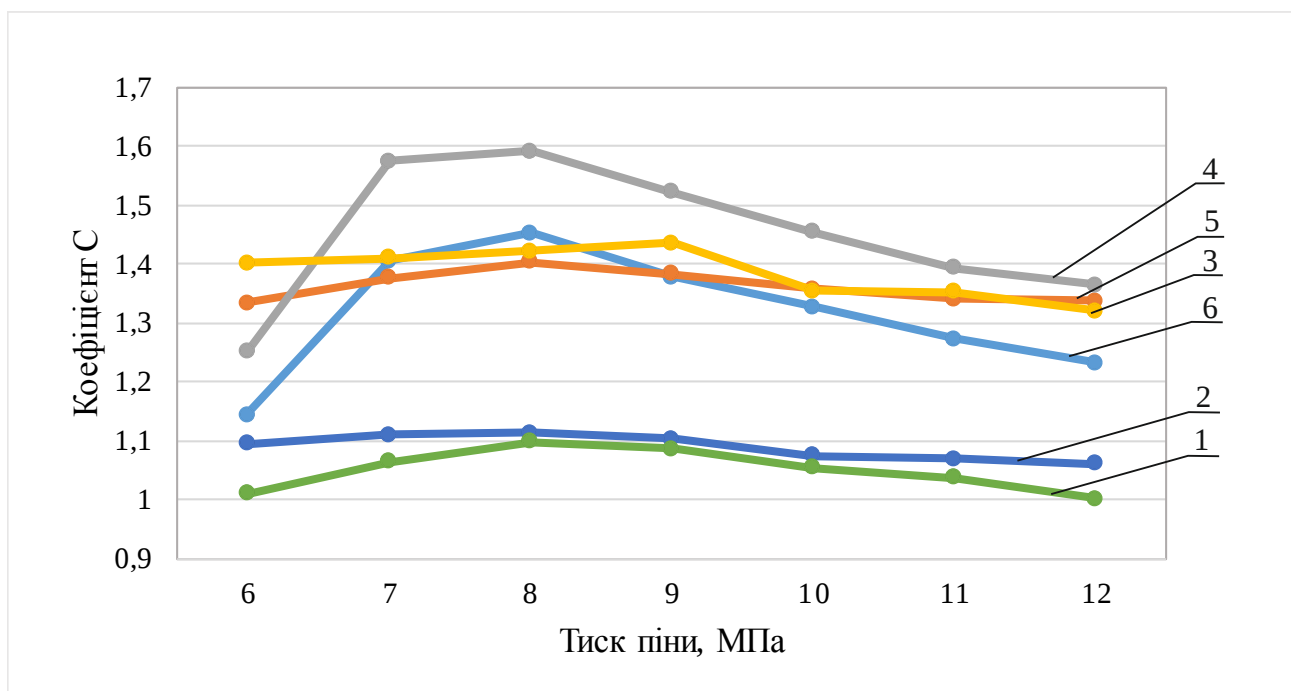


Рисунок 15 – Значення коефіцієнта енергоефективності при різних витратах рідини: 1 – 0,001 м³/с; 2 – 0,005 м³/с; 3 – 0,01 м³/с; 4 – 0,015 м³/с; 5 – 0,02 м³/с; 6 – 0,025 м³/с

Отримані результати (рис. 9–15) підтверджують енергоефективність піногенератора.

Найменший коефіцієнт енергоефективності спостерігається при витраті рідини 0,001 м³/с і коливається в межах від 1 до 1,09. При збільшенні витрати рідини коефіцієнт енергоефективності зростає і при витраті рідини 0,015 м³/с коливається в межах від 1,25 до 1,59 (при тиску піни 8 МПа). Згідно проведених досліджень це найефективніший режим роботи піногенератора. При подальшому збільшенні витрати рідини коефіцієнт енергоефективності зменшується і при витраті рідини 0,025 м³/с коливається в межах від 1,14 до 1,45.

Висновки. За результатами проведеного дослідження встановлено, що енергоефективність піногенераторів, які входять до складу обладнання блоку очистки промивальної рідини, суттєво залежить від гідродинамічних параметрів їх функціонування, зокрема витрати рідини та робочого тиску. Встановлено, що оптимальний режим експлуатації досягається при витраті рідини 0,015 м³/с та тиску 8 МПа, за якого фіксується найвищий коефіцієнт енергоефективності в межах 1,25–1,59, що свідчить про раціональне співвідношення між енергоспоживанням та продуктивністю пристрою. Відхилення параметрів від оптимального діапазону, як у бік зменшення, так і збільшення витрати, супроводжується зниженням енергоефективності, що зумовлює необхідність точного регулювання експлуатаційних режимів. Отримані результати мають прикладне значення для удосконалення методів розрахунку й проектування технологічного обладнання, оптимізації енергоспоживання в системах очищення рідин, а також для забезпечення високої екологічної та економічної ефективності виробничих процесів. Запропонований підхід до чисельного моделювання із використанням програмного середовища FlowSimulation (SolidWorks) демонструє високу ефективність для аналізу й оптимізації

параметрів гідродинамічного середовища і може бути адаптований до дослідження інших типів обладнання, що функціонують в умовах змінних режимів, що, у свою чергу, відкриває перспективи для створення комплексних енергоощадних технологій у різних галузях промисловості.

Література

1. Liakh M. M., Savyk V. M., Molchanov P. O. Experimental and industrial research on foamgenerating devices. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. No. 5 (161). P. 17–23. URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/1493-2017-ukr/zmist-5-2017/rozrobka-rodovishch-korisnikh-kopalin/4151-eksperimentalni-ta-promislovi-doslidzhennya-pinogeneruyuchikh-pristrojiv>
2. Чудик І. І. Енергетичні витрати в процесі буріння свердловини. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 2 (3). С. 5–8.
3. Чудик І. І., Бабій Р. Б. Оптимальна подача промивальної рідини на вибір при бурінні свердловини. *Нафтогазова енергетика*. 2007. № 3 (4). С. 71–75.
4. Семеняка О. Г., Кушнар'ов С. І., Росляков В. О. та ін. Освоєння свердловин піною із застосуванням пристрою, розробленого УкрНДІгазом. *Питання розвитку газової промисловості України* : зб. наук. праць. Харків : УкрНДІгаз, 2017. Вип. XLV. С. 112–116.
5. Лях М. М., Тимошенко В. М., Савик В. М., Яцишин Т. М. Підвищення ефективності піногенеруючих пристроїв для первинного розкриття продуктивних горизонтів з аномально-низькими пластовими тисками. *Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи* : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., Івано-Франківськ, 20–23 жовтня 2009 р. С. 73.
6. Кондрат Р. М., Кондрат О. Р., Марчук Ю. В., Хомин І. І. Підвищення продуктивності низькодебітних обводнених газових і газоконденсатних свердловин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2007. № 3 (24). С. 14–17.
7. Пащенко О. А. Шляхи підвищення надійності та ефективності бурового обладнання. *Форум гірників – 2016* : матеріали міжнар. конф., м. Дніпропетровськ. С. 5–6.
8. Liakh M. M., Savyk V. M., Molchanov P. O. Improving the efficiency of foamgenerating devices of pump-circulative systems of drilling sets. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. No. 3. P. 16–23. URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/1247-2016/zmist-3-2016/rozrobka-rodovishch-korisnikh-kopalin/3517-pidvishchennya-efektivnosti-pinogeneruyuchikh-pristrojiv-nasosno-tsirkulyatsijnikh-sistem-burovikh-ustanovok>.
9. Олійник С. М., Черненко Д. П. Чисельне моделювання процесів піногенерації. *Комп'ютерне моделювання в інженерії*. 2019. 3 (4). С. 65–71.
10. Чудик І. І. Дослідження величини подачі насоса для промивання скерованих свердловин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 4 (37). С. 39–46.
11. Biletskyi V., Molchanov P., Sokur M., et al. Research into the process of preparation of Ukrainian coal by the oil aggregation method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, no. 5 (87). P. 45–53. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.104123>
12. Hudz S., Ichanska N., Rendyuk S., Molchanov P. Optimization of the double-span purlins design sketch in a framework with portal frames through the rafter stays application.

Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2021. 1 (56), 30–36. URL: <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/11337>.

13. Surzhko T., Savyk V., Molchanov P., Kaliuzhnyi A. The efficiency increase of equipment work for the cleaning block of washing fluid. *Збірник наукових праць [Національного університету Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка] : Галузеве машинобудування, будівництво.* Полтава : НУПП, 2020. Вип. 2 (55). С. 121–127. https://znp.nupp.edu.ua/uk/2_55_2020.

14. Kaliuzhnyi A., Molchanov P., Savyk V. et al. Determining foaming regularities enabled by a five-nozzle foam generator for drilling technologies under conditions of abnormally low pressures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2022. Vol. 4, no. 1 (118). P. 72–79. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262506>.

Bibliography (transliterated)

1. Liakh M. M., Savyk V. M., Molchanov P. O. (2017). Experimental and industrial research on foamgenerating devices. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5(161), 17–23. URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/1493-2017-ukr/zmist-5-2017/rozrobka-rodovishch-korisnikh-kopalin/4151-eksperimentalni-ta-promislovi-doslidzhennya-pinogeneruyuchikh-pristrojiv>

2. Chudyk I. I. (2007). Enerhetychni vytraty v protsesi burinnia sverdlovyny. *Naftohazova enerhetyka*, 2(3), 5–8.

3. Chudyk I. I., Babiy R. B. (2007). Optymalna podacha promyvalnoi ridyny na vybii pry burinni sverdlovyny. *Naftohazova enerhetyka*, 3(4), 71–75.

4. Semenyaka O. G., Kushnaryov S. I., Roslyakov V. O., Shlikhutka A. M., Mykhailikova N. B. (2017). Osvoiennia sverdlovyn pinoiu iz zastosuvanniam prystroiu, rozroblenoho UkrNDIhazom. *Pytannia rozvytku hazovoi promyslovosti Ukrainy : zb. nauk. prats* (Issue XLV, pp. 112–116.). Kharkiv: UkrNDIgaz.

5. Lyakh M. M., Tymoshenko V. M., Savyk V. M., Yatsyshyn T. M. (2009). Pidvyshchennia efektyvnosti pinoheneruiuchykh prystroiv dlia pervynnoho rozkryttia produktyvnykh horyzontiv z anomalno-nyzkymy plastovymy tyskamy. *Naftohazova enerhetyka: problemy ta perspektyvy : materialy Mizhnar. nauk.-tekh. konf., Ivano-Frankivsk*, 20–23 zhovtnia 2009 (p. 73).

6. Kondrat R. M., Kondrat O. R., Marchuk Yu. V., Khomin I. I. (2007). Pidvyshchennia produktyvnosti nyzkodebitnykh obvodnennykh hazovykh i hazokondensatnykh sverdlovyn. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovishch*, 3(24), 14–17.

7. Pashchenko, O. A. (2016). Shliakhy pidvyshchennia nadiinosti ta efektyvnosti burovoho obladdannia. *Forum hirnykiv – 2016: materialy mizhnar. konf., Dnipropetrovsk* (pp. 5–6).

8. Liakh M. M., Savyk V. M., Molchanov P. O. (2016). Improving the efficiency of foamgenerating devices of pump-circulative systems of drilling sets. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 16–23. URL: <https://nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/1247-2016/zmist-3-2016/rozrobka-rodovishch-korisnikh-kopalin/3517-pidvyshchennya-efektyvnosti-pinogeneruyuchikh-prystroiv-nasosno-tsyrkuliatsiinykh-system-burovykh-ustanovok>

9. Oliinyk S. M., Chernenko D. P. (2019). Chyselne modeliuвання protsesiv pinoheneratsii. *Komp'uterne modeliuвання v inzhenerii*, 3(4), 65–71.

10. Chudyk I. I (2010). Doslidzhennia velychyny podachi nasosa dlia promyvannia skerovanykh sverdlovyn. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovysch*, 4 (37), 39–46.

11. Liakh M. M., Savyk V. M., Molchanov P. O. (2016). Improving the efficiency of foamgenerating devices of pump-circulative systems of drilling sets. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 16–23. URL: <http://nvngu.in.ua/index.php/ru/> (<https://nvngu.in.ua/index.php/uk/arkhiv-zhurnalu/za-vipuskami/1247-2016/zmist-3-2016/rozrobka-rodovysch-korisnikh-kopalin/3517-pidvishchennya-efektivnosti-pinogeneruyuchikh-pristrojiv-nasosno-tsirkulyatsijnikh-sistem-burovikh-ustanovok>).

12. Hudz S., Ichanska N., Rendyuk S., Molchanov P. (2021). Optimization of the double-span purlins design sketch in a framework with portal frames through the rafter stays application. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1(56), 30–36. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/11337>.

13. Surzhko, T. O., Savyk, V. M., Molchanov, P. O., Kalyuzhnyi, A. P. (2020). *The efficiency increase of equipment work for the cleaning block of washing fluid*. Zbirnyk naukovykh prats [Natsionalnoho universytetu Poltavskia politekhnika imeni Yuriia Kondratiuka]: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. (Iss. 2(55), pp. 121–127). Poltava: NUPP, 2020. Retrieved from https://znp.nupp.edu.ua/uk/2_55_2020.

14. Kaliuzhnyi A., Molchanov P., Savyk V., Knysh M., Yaremiychuk R. (2022). Determining foaming regularities enabled by a five-nozzle foam generator for drilling technologies under conditions of abnormally low pressures. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 1 (118), 72–79. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262506>.

УДК 622.276.3

М. І. Книш, Т. О. Суржко

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАДНАННЯ БЛОКУ ОЧИСТКИ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ З АНАЛІЗОМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІНОГЕНЕРАТОРІВ В УМОВАХ ЗМІННОГО ТИСКУ І ВИТРАТИ РІДИНИ

У статті розглянуто питання підвищення енергоефективності обладнання блоку очистки промивальної рідини з акцентом на аналіз роботи піногенераторів в умовах змінного тиску та витрати рідини. З огляду на зростаючі вимоги до енергозбереження, зменшення викидів та ефективного використання ресурсів у промисловості, актуальним є визначення оптимальних параметрів функціонування піногенераторів, які дозволяють забезпечити стабільне утворення піни з мінімальними енергетичними затратами. У дослідженні використано метод чисельного моделювання процесів у програмному середовищі FlowSimulation (SolidWorks), що дало змогу побудувати математичну модель роботи піногенератора та розрахувати коефіцієнти енергоефективності при різних експлуатаційних режимах. Проведено аналіз впливу змін витрати рідини (від 0,001 до 0,025 м³/с) та тиску (від 6 до 12 МПа) на ефективність функціонування пристрою. Встановлено, що найбільш оптимальним є режим з витратою рідини 0,015 м³/с і тиском 8 МПа, при якому досягається найвище співвідношення продуктивності до енергоспоживання. За межами цього діапазону ефективність знижується: при зменшенні витрати до 0,001 м³/с коефіцієнт енергоефективності становить 1–1,09, а при збільшенні до

0,025 м³/с – 1,14–1,45. Отримані результати мають прикладне значення для оптимізації технологічних процесів очищення рідин та модернізації промислових установок, сприяючи зниженню енергозатрат, підвищенню ефективності виробництва та поліпшенню екологічних показників. Стаття може слугувати науково-практичною основою для подальших досліджень у сфері енергозбереження, автоматизації систем очищення та екологічної безпеки технологічного обладнання. Запропонований підхід також може бути адаптований до інших видів обладнання, де ефективність залежить від динаміки гідрравлічних параметрів, що відкриває перспективи для розвитку комплексних енергоощадних технологій у різних галузях промисловості.

Ключові слова: блок очистки, конструкція, піногенератор, струмень, енергоефективність, тиск, піна.

Maksym Knysh, Tetiana Surzhko

RESEARCH OF THE EQUIPMENT OF THE WASHING LIQUID PURIFICATION UNIT WITH ANALYSIS OF THE ENERGY EFFICIENCY OF FOAM GENERATORS IN CONDITIONS OF VARIABLE PRESSURE AND LIQUID FLOW

The article considers the issue of increasing the energy efficiency of the equipment of the washing liquid purification unit with an emphasis on the analysis of the operation of foam generators under conditions of variable pressure and liquid flow. Given the growing requirements for energy conservation, emission reduction and efficient use of resources in industry, it is relevant to determine the optimal parameters of the functioning of foam generators, which allow ensuring stable foam formation with minimal energy costs. The study used the method of numerical modeling of processes in the FlowSimulation software environment (SolidWorks), which made it possible to build a mathematical model of the foam generator operation and calculate energy efficiency coefficients at different operating modes. The analysis of the influence of changes in liquid flow (from 0.001 to 0.025 м³/s) and pressure (from 6 to 12 MPa) on the efficiency of the device's operation was carried out. It was established that the most optimal mode is a liquid flow of 0.015 м³/s and a pressure of 8 MPa, at which the highest ratio of productivity to energy consumption is achieved. Outside this range, the efficiency decreases: when the flow rate decreases to 0.001 м³/s, the energy efficiency coefficient is 1–1.09, and when it increases to 0.025 м³/s, it is 1.14–1.45. The results obtained have applied value for optimizing technological processes of liquid purification and modernization of industrial plants, contributing to reducing energy costs, increasing production efficiency and improving environmental performance. The article can serve as a scientific and practical basis for further research in the field of energy saving, automation of purification systems and environmental safety of technological equipment. The proposed approach can also be adapted to other types of equipment, where efficiency depends on the dynamics of hydraulic parameters, which opens up prospects for the development of complex energy-saving technologies in various industries.

Keywords: cleaning unit, design, foam generator, jet, energy efficiency, pressure, foam.