

## ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОСОПЛОВИХ ПІНОГЕНЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

*В.М. Савик*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка;  
м. Полтава, пр-т Першотравневий, 24, тел. (0532) 561604, e-mail: savicppntu@rambler.ru*

*Обґрунтовано необхідність в розробленні універсального піногенеруючого пристрою для створення пінистих розчинів, що використовуються в процесі промивання нафтогазових свердловин під час їх буріння та ремонту. З метою оптимізації геометричних параметрів багатосоплових піногенеруючих пристроїв застосовується програма SolidWorks з прикладним модулем FlowSimulation. Дослідження пристрою проводились при використанні вхідної частини камери змішування циліндричної або конічної форми, при зміні подачі рідини на вході, тиску повітря на вході у відповідному патрубку та тиску піни на виході із пристрою.*

*У висновках дається настанова та рекомендації щодо конструктивних особливостей багатосоплових піногенеруючих пристроїв та підбирання необхідних режимів роботи насосного агрегату і компресора для одержання піни заданих параметрів.*

*Ключові слова: багатосопловий піногенеруючий пристрій; газорідинні суміші; дрібнодисперсна піна; комп'ютерні дослідження.*

*Обоснована необходимость в разработке универсального пеногенерирующего устройства для создания пенистых растворов, используемых в процессе промывки нефтегазовых скважин при их бурении и ремонте. С целью оптимизации геометрических параметров многосопловых пеногенерирующих устройств использована программа SolidWorks с прикладным модулем FlowSimulation. Исследование устройства проводилось при использовании входной части камеры смешения цилиндрической или конической формы, при изменении подачи жидкости на входе, давления воздуха на входе в подводящем патрубке и давления пены на выходе из устройства.*

*В заключении поданы инструкции и рекомендации по конструктивным особенностям многосопловых пеногенерирующих устройств и выборе необходимых режимов работы насосного агрегата и компрессора для получения пены заданных параметров.*

*Ключевые слова: многосопловое пеногенерирующее устройство; газожидкостные смеси; мелкодисперсная пена; компьютерные исследования.*

*The necessity of developing a universal foam-generating device for production of the foamed solutions that are used in the process of oil and gas well washing during drilling and workover was grounded. The program SolidWorks with the application module FlowSimulation is used to optimize the geometrical parameters of multinozzle foam-generating devices. The study of the device was performed with the use of the mixing chamber inlet of a cylindrical or conical form, when changing the fluid supply at the input, air pressure at the input pipe and foam pressure at the device output.*

*The instructions and recommendations concerning design peculiarities of the multinozzle foam-generating devices and selection of the necessary operation modes of the pumping unit and compressor to get the foam of the required parameters are presented in the conclusion.*

*Key words: multinozzle foam-generating device, gas and liquid mixtures, fine foam; computer studies.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Буріння нафтогазових свердловин в пористих і нестійких породах пов'язане із значними складнощами, а саме: велике поглинання бурового розчину, навіть до катастрофічного, та пов'язані з цим значні витрати на постачання хімічних реагентів, приготування промивальних рідин, спуску технічних проміжних колон, тампонажних робіт і т.п.; розмивання буровим розчином нестійких порід, що не дозволяє отримати якісний керн для геологічних досліджень; виникнення в процесі буріння свердловин ускладнень, пов'язаних з розмиванням стінок свердловин, каверноутвореннями, накопиченням на вибої шламу, прихопленням і заклинюванням бурового інструменту та інше; при розкриванні нафтогазоносних горизонтів можливе закупорювання

буровим розчином продуктивного пласта і не отримання очікуваного ефекту.

Запобігти цим ускладненням можна шляхом використання в якості бурового розчину газорідинних сумішей (аеровані рідини, піни), які мають цілий ряд переваг в порівнянні з промивальними рідинами і дають можливість усунути вище перераховані негативні явища. На даний час в практиці буріння нафтогазових свердловин з піною відсутнє обладнання, яке дозволяє формувати піну із певними заданими структурою і дисперсністю. Тому існує необхідність в розробленні універсального піногенеруючого пристрою, використання якого було б можливе в умовах бурової установки з найменшою модернізацією її циркуляційної системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Для того, щоб буріння пінистими

розчинами було ефективним, необхідно використовувати стабільну піну дрібнодисперсної структури, яка повинна мати необхідну стійкість і в той же час легко руйнуватись на поверхні. Період існування піни повинен бути не меншим часу, який необхідний для підйому шламу від вибою свердловини до гирла. Очистка вибою свердловини від шламу проходить внаслідок гідродинамічної сили потоку разом з ефектом флотації шламу. При вмісті в піні 60 – 96% газу в процесі промивання її поведінка аналогічна поведінці пластичної рідини. На шляху від гирла до вибою піна є пластичною стискуваною рідиною, а при русі від вибою до гирла – розширюваною внаслідок збільшення розмірів бульбашок і наступного збільшення свого об'єму [1, 2, 3, 4].

Провівши структурний аналіз існуючих піногенеруючих пристроїв [5], підібрано структурну схему і запропоновано піногенеруючий пристрій, який повинен забезпечити високу ефективність насичення промивальної рідини повітрям і високоякісне піноутворення за рахунок можливості насичення в'язких промивальних рідин повітрям та можливості регулювання у значних межах насичення повітрям суміші.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.** Всесторонньо в комплексі не розглядалися основні фактори, які значною мірою впливали на ефективність роботи багатосоплових піногенеруючих пристроїв. До таких факторів можна віднести зміну швидкості, тиску, температури та траєкторії руху потоків рідини і повітря.

**Метою роботи** є оптимізація геометричних параметрів багатосоплового піногенеруючого пристрою з використанням комп'ютерного моделювання.

**Висвітлення основного матеріалу дослідження.** Як свідчать дослідження [6], при виборі оптимальних розмірів піногенеруючого пристрою та режимів руху рідини і повітря за допомогою односоплового пристрою можна отримувати дрібнодисперсну піну. Однак, для різних параметрів промивального розчину мають обмеження геометричних розмірів піногенеруючого пристрою, що впливає на обмеження продукування піни.

Для промислових умов, а саме для буріння нафтогазових свердловин, необхідна продуктивність змінюється у досить широких межах залежно від діаметра свердловини. Тому для забезпечення належного промивання свердловин піною запропоновано багатосопловий піногенеруючий пристрій [5], який забезпечить виробничі вимоги промивання піною основну кількість свердловин, що буряться на нафту й газ. В кожному ежекторі пристрою зберігаються ті ж самі режими і параметри роботи, що і в односопловому піногенеруючому пристрої, завдяки збереженню пропорцій між подачами рідини і повітря.

З метою оптимізації геометричних параметрів багатосоплових піногенеруючих пристроїв застосовується програма SolidWorks з прикладним модулем FlowSimulation. Створюючи тривимірну модель п'ятисоплового піногенеруючого пристрою, його геометричні розміри вибрано з врахуванням проведених комп'ютерних досліджень односоплового піногенеруючого пристрою [6]. При цьому на виході кожного ежектора п'ятисоплового піногенеруючого пристрою утворюватиметься дрібнодисперсна піна і при змішуванні отриманих потоків не проходить якісної зміни піни.

Проведено комп'ютерні дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні подачі рідини на вході, тиску повітря на вході у підвідному патрубку та тиску піни на виході із пристрою.

1. Під час дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні подачі рідини на вході 0,015 м<sup>3</sup>/с і 0,02 м<sup>3</sup>/с граничними умовами роботи піногенеруючого пристрою були: тиск повітря на вході в підвідному патрубку – 12 МПа; тиск піни на виході з пристрою – 12 МПа.

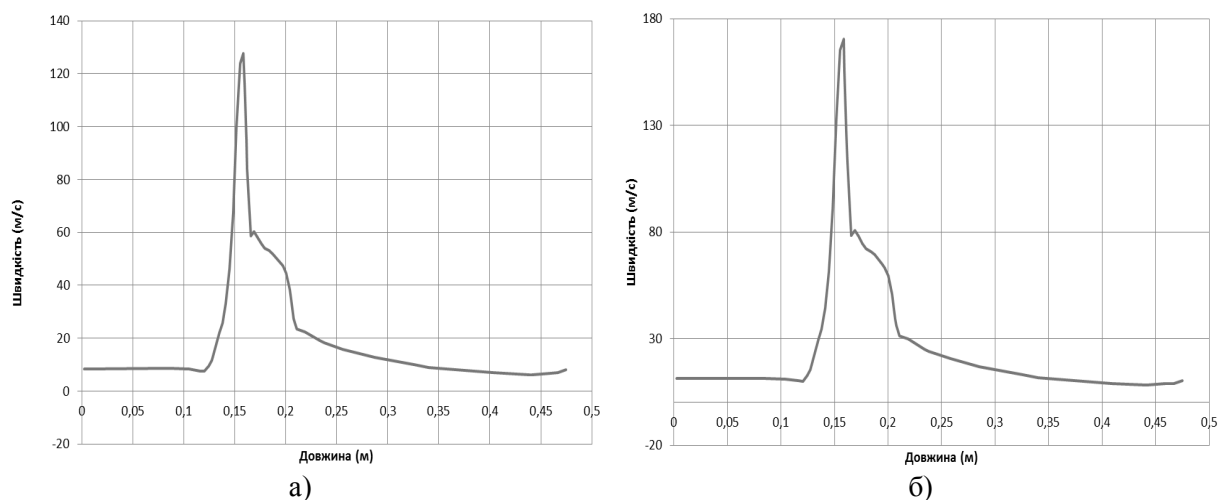
Аналіз графічних залежностей (рис. 1, 2) вказує на те, що зміна швидкості при різних подачах проходить подібно, при більшій подачі рідини максимальна швидкість рідини в соплі більша (127,6 м/с при 0,015 м<sup>3</sup>/с та 170,4 м/с при 0,02 м<sup>3</sup>/с) і більша продуктивність, т. як швидкість піни на виході зростає (з 7,96 м/с до 10,15 м/с). При збільшенні подачі рідини на вході необхідний її тиск для забезпечення заданих граничних умов збільшується із 21,8 МПа при 0,015 м<sup>3</sup>/с до 29,4 МПа при 0,02 м<sup>3</sup>/с, а мінімальний тиск в камері змішування дещо зменшується (з 11,3 МПа до 10,7 МПа).

2. Під час дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні тиску повітря на вході у підвідному патрубку 7,5 МПа і 10 МПа граничними умовами роботи піногенеруючого пристрою є: подача рідини на вході – 0,02 м<sup>3</sup>/с; тиск піни на виході з пристрою – 10 МПа.

При аналізі графічних залежностей розподілу швидкості в повздовжньому перерізі пристрою (рис. 3) встановлено, що зміна швидкості при різних тисках повітря на вході проходить подібно, але при більшому тиску на вході швидкість піни на виході зростає з 6,57 м/с до 10,4 м/с.

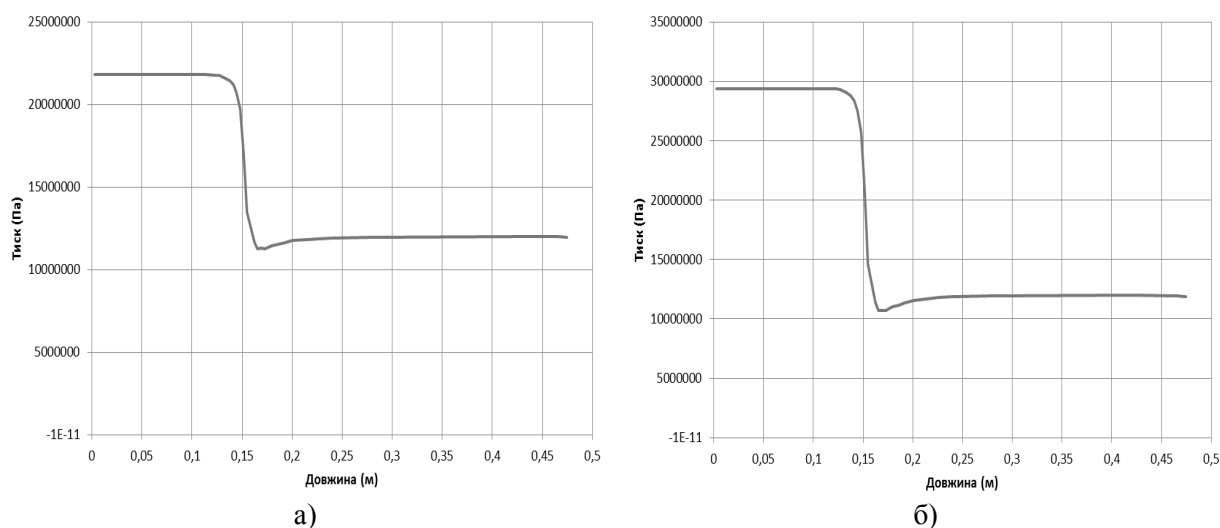
Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу тиску в повздовжньому перерізі пристрою (рис. 4) встановлено, що при зниженні тиску повітря на вході при інших однакових умовах необхідний тиск рідини на вході для забезпечення граничних умов зменшується із 27,4 МПа до 26,6 МПа, також зменшується мінімальний тиск в камері змішування (з 8,7 МПа до 7,8 МПа).

Графік зміни температури вздовж перерізу пристрою проходить подібно (рис. 5), температура при різних тисках повітря на вході в підвідному патрубку за інших однакових умов фактично не змінюється.



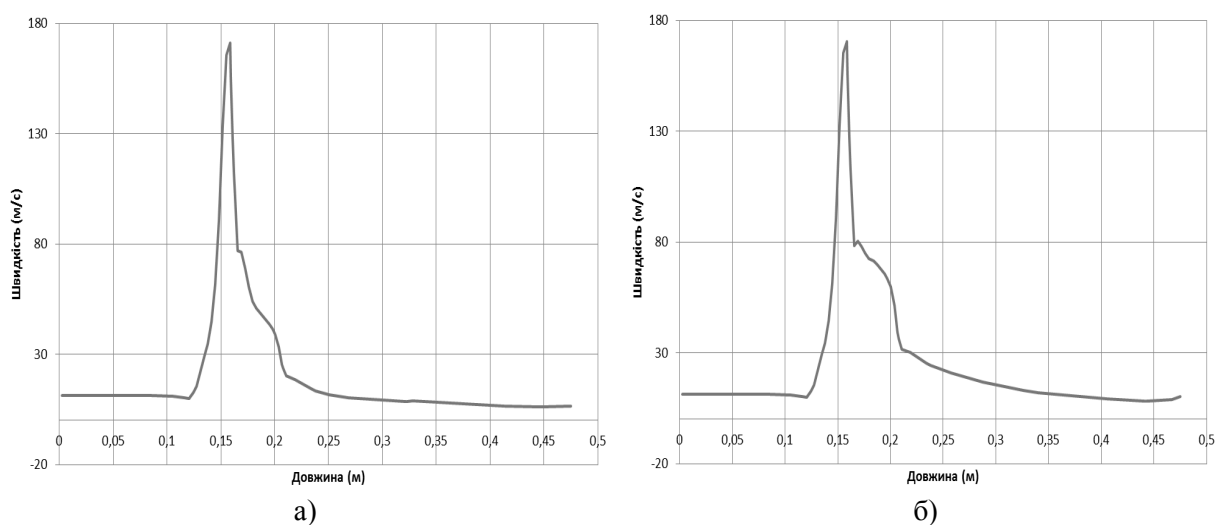
*а – при подачі рідини на вході  $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ ; б – при подачі рідини на вході  $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$*

**Рисунок 1 – Графічні залежності розподілу швидкості в повздовжньому перерізі пристрою**



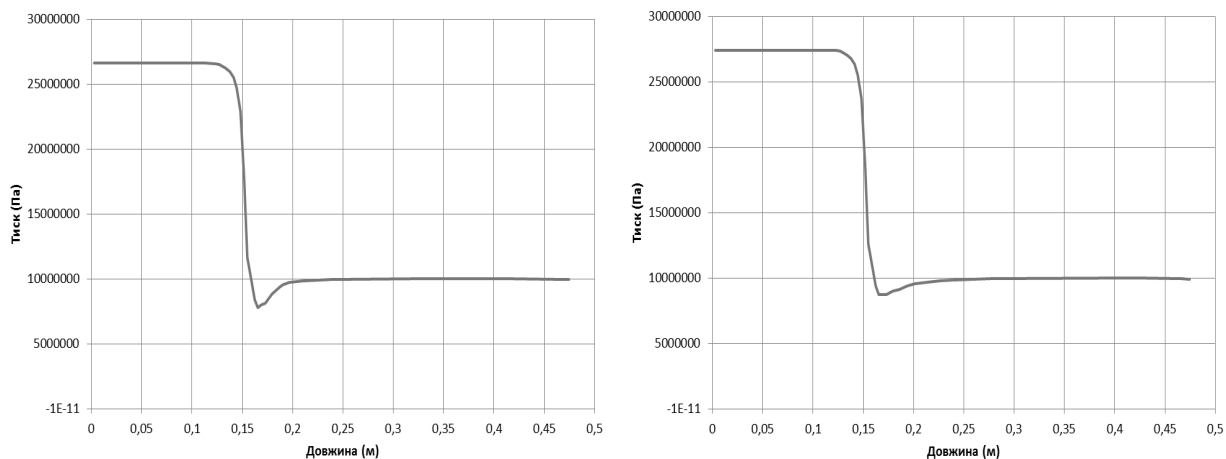
*а – при подачі рідини на вході  $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ ; б – при подачі рідини на вході  $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$*

**Рисунок 2 – Графічні залежності розподілу тиску в повздовжньому перерізі пристрою**



*а – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку  $7,5 \text{ МПа}$ ;  
б – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку  $10 \text{ МПа}$*

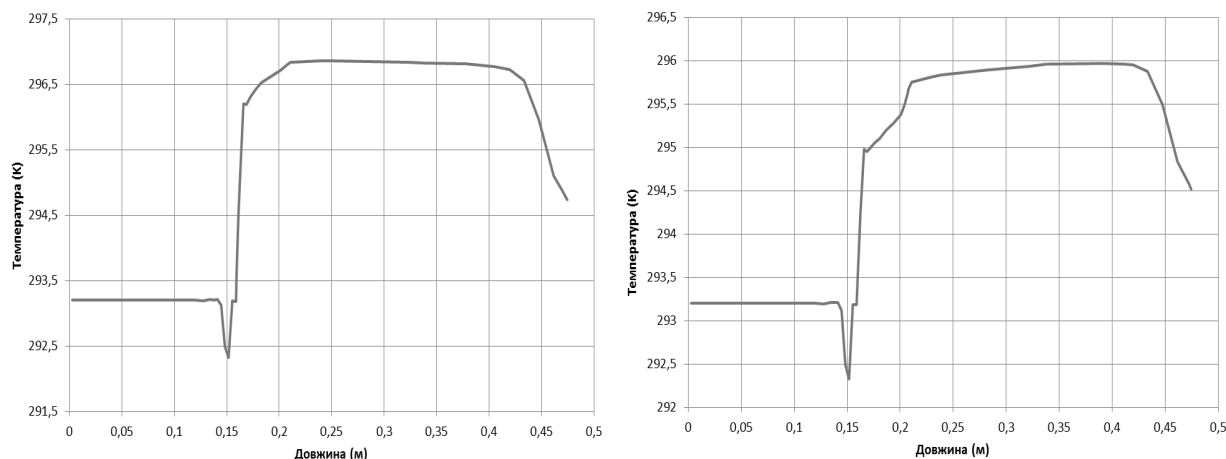
**Рисунок 3 – Графічні залежності розподілу швидкості в повздовжньому перерізі пристрою**



а) б)

*а – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку 7,5 МПа;  
б – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку 10 МПа*

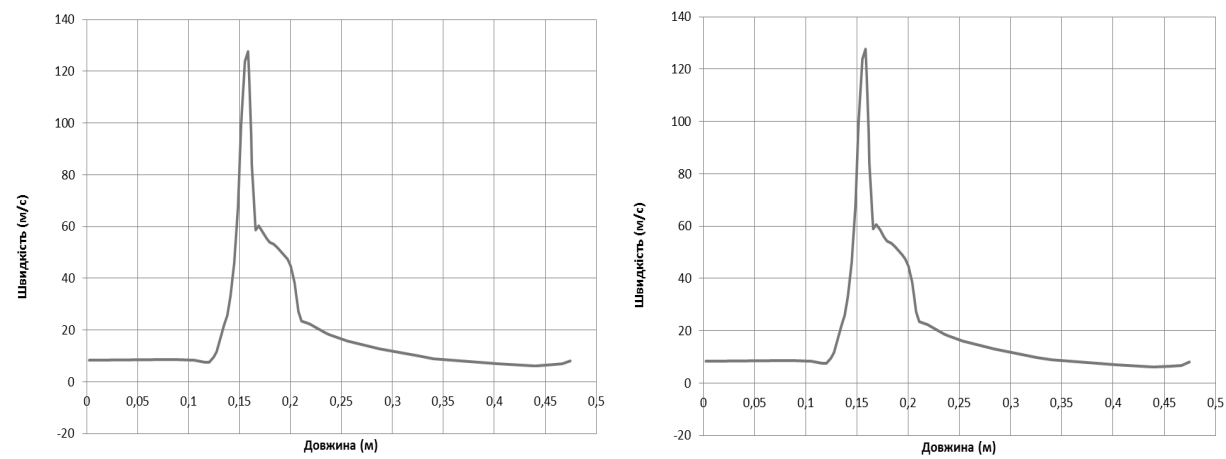
**Рисунок 4 – Графічні залежності розподілу тиску в повздовжньому перерізі пристрою**



а) б)

*а – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку 7,5 МПа;  
б – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку 10 МПа*

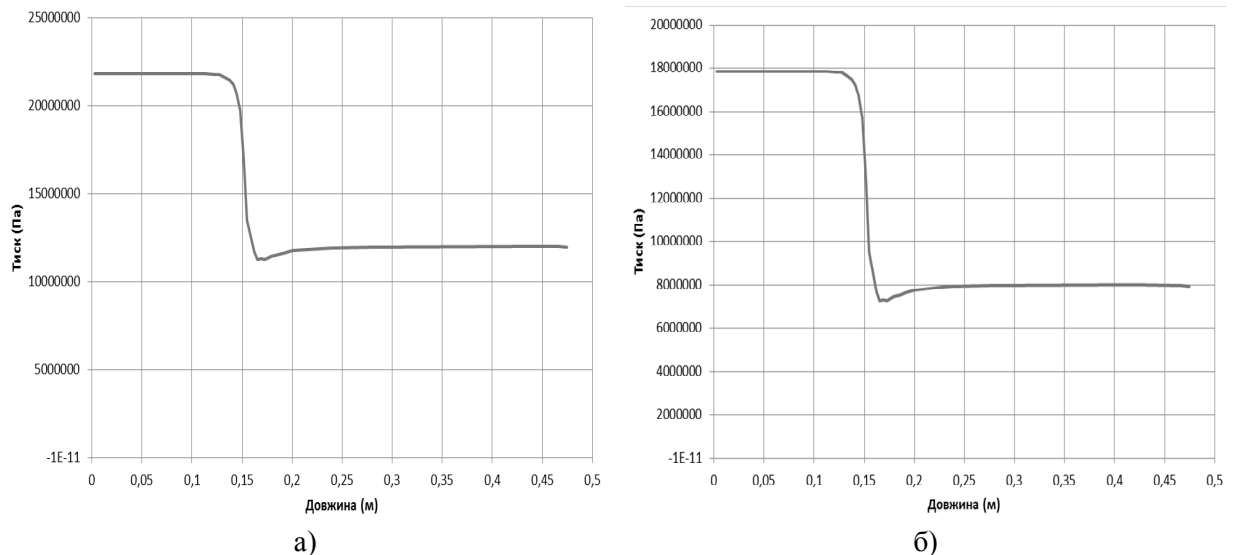
**Рисунок 5 – Графічні залежності розподілу температури в повздовжньому перерізі пристрою**



а) б)

*а – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку 7,5 МПа;  
б – при тиску повітря на вході у відповідному патрубку 10 МПа*

**Рисунок 6 – Графічні залежності розподілу швидкості в повздовжньому перерізі пристрою**



а – при тиску повітря і піни 12 МПа; б – при тиску повітря і піни 8 МПа

Рисунок 7 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

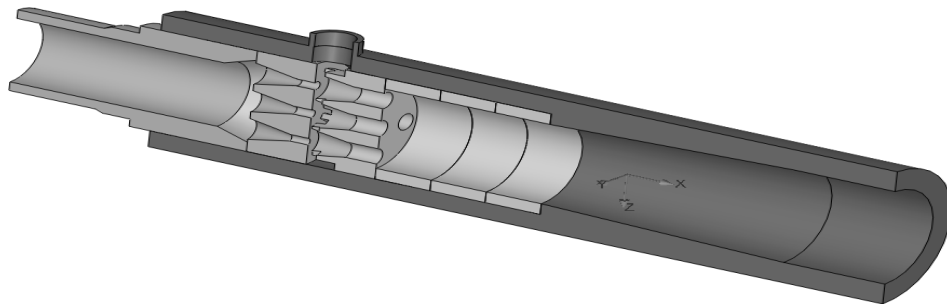


Рисунок 8 – П'ятисопловий піногенеруючий пристрій оптимальної конструкції

3. Під час дослідження п'ятисоплового піногенеруючого пристрою при зміні тиску піни на виході із пристрою розглядалися режими руху потоку при незмінній подачі рідини на вході  $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$  та змінному тиску повітря на вході у підвідному патрубку та піни на виході з п'ятисоплового пристрою із 12 МПа до 8 МПа.

Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою незмінні, що показано на рис. 6.

Аналіз графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 7) вказує на те, що при зменшенні тиску повітря на вході та піни на виході при інших однакових умовах характер зміни тиску вздовж перерізу незмінний, а необхідний тиск рідини на вході для забезпечення граничних умов зменшується із 21,8 МПа до 17,8 МПа.

На рис. 8 подано тривимірну модель п'ятисоплового піногенеруючого пристрою оптимальної конструкції та геометричних параметрів, які визначені при дослідженні одно- та п'ятисоплових пристроїв.

В процесі проведення комп'ютерних досліджень одно- і п'ятисоплового піногенеруючих пристроїв при різних режимах їх експлуатації отримано графічні залежності необхідних тисків рідини на вході в пристрій залежно від прогнозованого значення тиску піни на виході.

Отримані результати необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході при різних подачах рідини та тиску газу на вході зведено в табл. 1, на основі яких побудовано графічні залежності (рис. 9).

### Висновки

1 Проведені комп'ютерні дослідження піногенеруючого пристрою ежекторного типу підтвердили результати теоретичних досліджень і лабораторних випробувань.

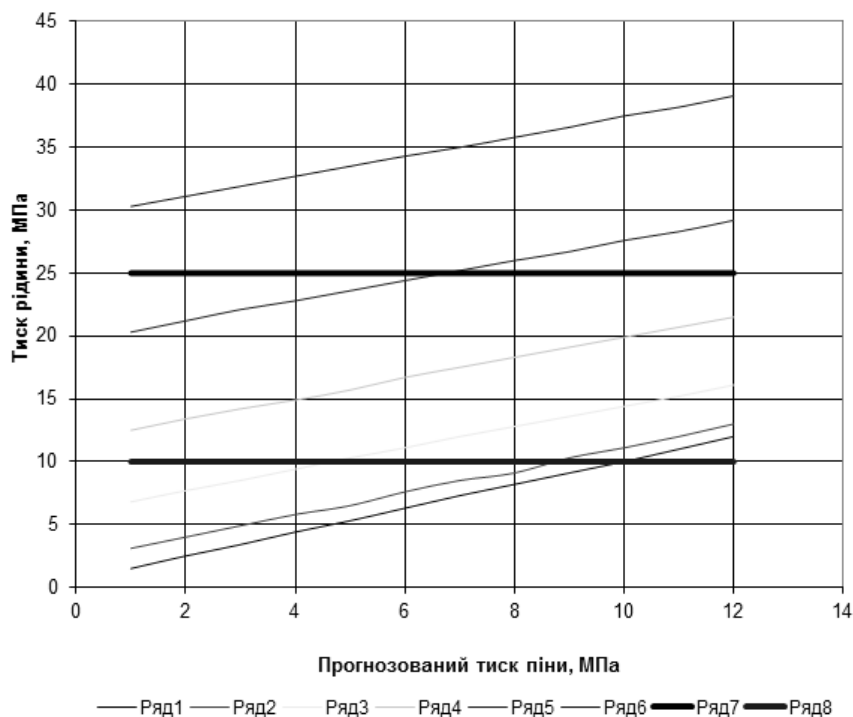
2 За допомогою отриманих графічних залежностей можна підбирати необхідні режими роботи насосного агрегату і компресора для одержання піни заданих параметрів.

3 Встановлено, що при проектуванні як одно соплових, так і багато соплових піногенеруючих пристроїв ежекторного типу доцільно використовувати результати їх комп'ютерних досліджень.

4 В процесі розроблення параметричного ряду або розроблення нових конструкцій піногенеруючих пристроїв використання результатів комп'ютерних досліджень значно прискорить отримання позитивного ефекту.

Таблиця 1 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході

Прогнозований тиск піни $P_n$ , МПа	Подача рідини $Q_p$ , м <sup>3</sup> /с					
	0,001	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025
1	1,5	3,1	6,8	12,5	20,3	30,3
2	2,5	4	7,7	13,4	21,2	31,1
3	3,4	4,9	8,5	14,2	22,1	31,9
4	4,4	5,8	9,4	14,9	22,8	32,7
5	5,3	6,5	10,3	15,7	23,6	33,5
6	6,3	7,6	11,1	16,7	24,4	34,3
7	7,3	8,5	12	17,5	25,2	35
8	8,2	9,1	12,8	18,3	26	35,8
9	9,1	10,3	13,6	19,1	26,7	36,6
10	10	11,1	14,4	19,9	27,6	37,5
11	11	12	15,2	20,7	28,3	38,2
12	12	13	16,1	21,5	29,2	39,1



Ряд 1 – при подачі рідини 0,001 м<sup>3</sup>/с; Ряд 2 – при подачі рідини 0,005 м<sup>3</sup>/с;  
 Ряд 3 – при подачі рідини 0,01 м<sup>3</sup>/с; Ряд 4 – при подачі рідини 0,015 м<sup>3</sup>/с;  
 Ряд 5 – при подачі рідини 0,02 м<sup>3</sup>/с; Ряд 6 – при подачі рідини 0,025 м<sup>3</sup>/с;  
 Ряд 7, 8 – верхня і нижня лінії обмеження робочої характеристики пристрою

Рисунок 9 – Залежність необхідного тиску рідини на вході у піногенеруючий пристрій від прогнозованого значення тиску піни на виході

## Література

1 Мислюк М.А. Буріння свердловин: Довідник: 45т. / М.А. Мислюк, І.А. Рибчич, Р.С. Яремійчук. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. ISBN 966-501-034-8.

2 Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам / Я.А. Рязанов – Оренбург: Летопись, 2005. – 664 с.

3 Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде: Справочное пособие / А.Ю. Намиот – М.: Недра, 1991. – 167 с.

4 Лужаниця О.В. До питання удосконалення технології первинного розкриття продуктивних горизонтів з аномально низькими пластовими тисками / О.В.Лужаниця, Ю.О.Педенко, І.П.Долюк, С.О.Назаренко, М.В.Лужаниця // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №3 (16). – С. 9-14.

5 Савик В.М. Аналіз і раціоналізація конструкції піногенеруючого устаткування або пристрою / В.М. Савик, М.М. Лях, В.М. Вакалюк, Я.В. Солоничний // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №3 (44). – С. 63 – 69.

6 Савик В.М. Оцінка впливу геометричних параметрів на ефективність роботи піногенеруючого пристрою / В.М. Савик // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №2 (43). – С. 173 – 188.

7 Лях М.М. Аналіз результатів теоретичних та комп'ютерних досліджень піногенеруючого пристрою / М.М. Лях, В.М. Савик // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2012: сборник научных трудов Sworld. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012. – Т. 8, вып. 4. – С. 77 – 87.

*Стаття надійшла до редакційної колегії*  
07.08.14

*Рекомендована до друку*  
*професором Коцкуличем Я.С.*  
*(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)*  
*професором Павленком А.М.*  
*(Полтавський національний технічний*  
*університет ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава)*