

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПІНОГЕНЕРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

В.М. Савик

ІФНТУНГ, 76019, м Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,  
e-mail: savicppntu@rambler.ru

*З метою оптимізації геометричних параметрів односоплових піногенеруючих пристроїв застосується програма SolidWorks з прикладним модулем FlowSimulation. Дослідження пристрою проводились при використанні вхідної частини камери змішування циліндричної та конічної форми, при подовженні її за допомогою додаткових втулок, при зміні відстані між соплом і камерою змішування, при зміні діаметра сопла та довжини його циліндричної частини. Згідно з результатами проведених досліджень рекомендується при створенні моделі п'ятисоплового піногенеруючого пристрою вхідну частину камери змішування виконати конічної форми із дотиканням до соплової частини, довжина циліндричної частини камери має складати 1...1,5 діаметра. Також рекомендується використовувати різні діаметри сопел в межах 4...6 мм, а довжина циліндричної частини має складати 1...2 їх діаметра.*

Ключові слова: піногенератор, пінистий розчин, піногенеруючий ежектор, піноутворення, промивання свердловин пінами.

*С целью оптимизации геометрических параметров односопловых пеногенерирующих устройств применяется программа SolidWorks с прикладным модулем FlowSimulation. Исследования устройства проводились при использовании входной части камеры смешивания цилиндрической и конической формы, при удлинении ее с помощью дополнительных втулок, при изменении расстояния между соплом и камерой смешивания, при изменении диаметра сопла и длины его цилиндрической части. Согласно результатам проведенных исследований рекомендуется при создании модели пятисоплового пеногенерирующего устройства входную часть камеры смешивания выполнить конической формы с касанием к сопловой части, длина цилиндрической части камеры должна составлять 1...1,5 диаметра. Также рекомендуется использовать разные диаметры сопел в пределах 4..6 мм, а длина цилиндрической части должна составлять 1...2 их диаметра.*

Ключевые слова: пеногенератор, пенный раствор, пеногенерирующий эжектор, пенообразование, промывание скважин пенами.

*To optimize the geometrical parameters of one-nozzle foam-generating device the SolidWorks software with application modules FlowSimulation is applied. The study of the device was carried out using the input of the mixing chamber of cylindrical and conical shape, building an extension onto its additional plug-ins, changing the distance between the nozzle and mixing chamber, changing the nozzle diameter and the length of its cylindrical part. On the basis of the studies to the problem of making five-nozzles foam-generating device models, the input part of the mixing chamber should of conical shape with the contact to the nozzle, the length of the cylindrical chamber must be 1 ... 1.5 diameter. It is also recommended to use the nozzles of different diameter, the length of the cylindrical part should be 1 ... 2 diameter.*

Keywords: foam-generating device, foamy solution, foam-generating ejector, foam, foam-washing wells.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Піна в бурінні – агрегативно нестійка дисперсна система, у якій бульбашки газу відокремлені тонкими рідинними прошарками, що у вигляді плівок утворюють безперервну фазу (дисперсне середовище). Основну частину об'єму піни (60 – 96%) складає газоподібна фаза. Для отримання піни в системі «рідина-газ» необхідна присутність третього компонента – піноутворювача. Теоретичні, експериментальні та промислові дослідження дають підстави стверджувати, що використання пін може значно інтенсифікувати процес буріння, підвищити якість розкривання продуктивних пластів, покращити деякі технологічні процеси при видобуванні нафти і газу. Структурно-механічні властивості пін (в'язкість, динамічна напруга зсуву), великий діапазон зміни питомої ваги, пружні властивості, ізолююча здатність бульбашок піни характеризують її як особливу промивальну суміш, яка забезпечує високу якість виконання різних технологічних процесів у бурінні та нафтогазовидобуванні [1, 2].

Це все ще раз підтверджує актуальність проблеми і необхідність подальших науково-дослідницьких робіт, які спрямовані на підвищення ефективності пінної системи в час процесі буріння пінистими розчинами.

**Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Найбільш поширеним способом утворення піни є диспергаційний, який базується на інтенсивному перемішуванні піноутворюючого розчину та повітря, а саме: дію рухомих пристроїв - перемішуючих мішалок - на рідину в атмосфері газу (цей спосіб низькоєфективний, тому рідко використовується); пропускання струменя газу через шар рідини (в барботажних або аераційних установках); ежекування повітря рухомих струменем рідини (в піногенеруючих пристроях).

Основними факторами, які значною мірою впливають на ефективність роботи піногенеруючих пристроїв, є зміна швидкості, тиску, тем-

ператури та траєкторії руху потоків рідини і повітря. Аналіз останніх публікацій [3, 4, 5, 6] вказує на те, що в останній період недостатньо уваги приділяється дослідженню піногенеруючих пристроїв із всебічним комплексним врахуванням даних чинників.

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

**Метою роботи** є оптимізація геометричних параметрів односоплового піногенеруючого пристрою із застосуванням комп'ютерного моделювання.

**Висвітлення основного матеріалу дослідження.** Для дослідження процесу піноутворення на основі патенту на корисну модель [7] виготовлений лабораторно-експериментально-промисловий взірєць п'ятисоплового піногенеруючого пристрою ПГП-100х25-5. Експериментальні дослідження пристрою на різних режимах роботи засвідчили його працездатність та можливість використання в промислових умовах для промивання нафтогазових свердловин пінистими розчинами. Різноманіття конфігурацій пристрою пов'язане з необхідністю використання в різних умовах, однак вимагає виготовлення великої кількості змінних його деталей. Оскільки це працемістка і високовартісна робота, то було прийнято рішення провести дослідження впливу геометричних параметрів на ефективність роботи піногенеруючого пристрою з застосуванням комп'ютерного моделювання. Результати даної роботи підтвердили експериментальні дослідження, тому можуть вважатися достовірними.

Для подачі великих об'ємів піни у глибоких свердловинах використовуватимуться багатосоплові піногенераторуючі пристрої. Однак проводити моделювання багатосоплового пристрою із зміною геометричних розмірів важко, тому відпрацювання параметрів проводились на односопловому пристрої, що має ті ж властивості, що і багатосопловий. Розглядалися різні варіанти геометричних параметрів пристрою для різних режимів його роботи.

Вибрано характерні залежності, за якими проводиться аналіз, при цьому закономірності зберігаються. Досліджувався односопловий піногенеруючий пристрій при зміні діаметра сопла, зміні довжини його циліндричної частини, при використанні вхідної частини камери змішування циліндричної або конічної форми, при подовженні її за допомогою додаткових втулок, при зміні відстані між соплом та камерою змішування. Підібрано найбільш характерні для конкретного дослідження граничні умови роботи піногенеруючого пристрою.

Для оптимізації конструктивних та геометричних параметрів односоплового піногенеруючого пристрою за допомогою програми SolidWorks розроблена тримірна модель пристрою. Дослідження піногенеруючого пристрою проводилось в програмі FlowSimulation, яка є прикладним модулем SolidWorks.

Дослідження вхідної частини камери змішування для порівняння циліндричної і конусної її конфігурації проводились за таких граничних умов: подача рідини (води) на вході - 0,004 м<sup>3</sup>/с; тиск повітря на вході в підвідному патрубку - 10 МПа; тиск на виході з пристрою - 10 МПа.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із циліндричною та конічною вхідною частинами камери змішування зображений на рис. 1-3.

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 4) встановлено, що максимальна швидкість рідини в соплі у пристрої із конічною вхідною змішувальною камерою є дещо меншою (від 165 м/с до 162 м/с). В даному пристрої також менша швидкість піни на виході (4,6 м/с та 7,2 м/с), більш полого крива швидкості в камері змішування (порівняно із стрибкоподібною зміною швидкості у пристрої із вхідною циліндричною частиною камери змішування).

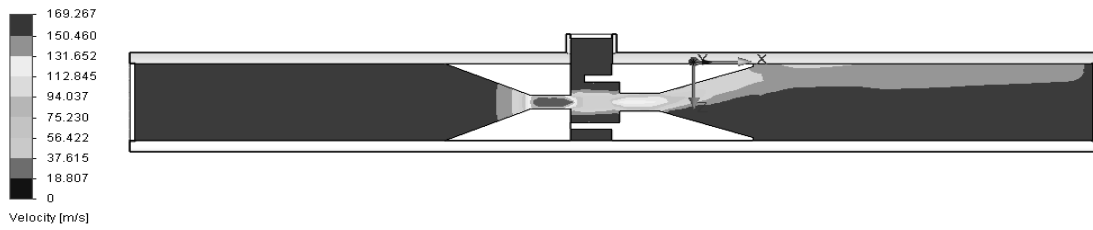
При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 5) встановлено, що у випадку використання у піногенеруючому пристрої конічної вхідної частини камери змішування необхідний тиск рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижується з 24,8 до 20,4 МПа, при цьому також зменшується мінімальний тиск в камері змішування – з 7,2 до 5,9 МПа, що дасть змогу зменшувати тиск повітря на вході у піногенеруючий пристрій.

Аналізуючи графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 6), встановлено, що у пристрої із циліндричною вхідною частиною камери змішування температура стрибкоподібно зростає і спадає у вхідній частині камери, відтак зростає до температури, яка є вищою температури у пристрої з конічною вхідною частиною камери змішування. На виході температура піни в обох піногенеруючих пристроях приблизно однакова.

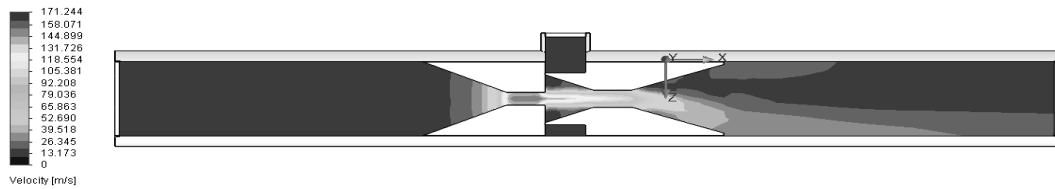
На рис. 7 зображено траєкторії руху потоків рідини і повітря у конічній частині камери змішування піногенеруючого пристрою.

Згідно з проведеним порівнянням піногенеруючих пристроїв двох типів можна дати рекомендацію, що під час створення моделі п'ятисоплового піногенеруючого пристрою необхідно використовувати камери змішування із конічною вхідною частиною.

Дослідження піногенеруючого пристрою із різними діаметрами циліндричної частини сопла проводились за таких граничних умов: подача рідини (води) на вході - 0,001 м<sup>3</sup>/с; тиск повітря на вході в підвідному патрубку - 0,75 МПа; тиск на виході з пристрою - 0,75 МПа.



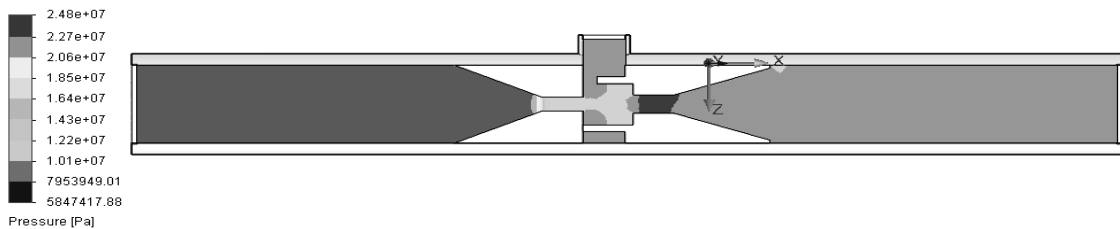
а)



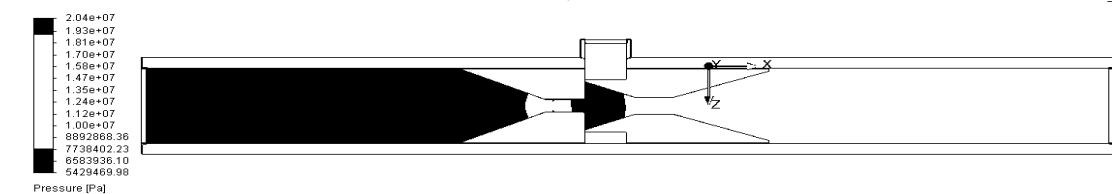
б)

*а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;  
б – камера змішування із конічною вхідною частиною*

**Рисунок 1 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**



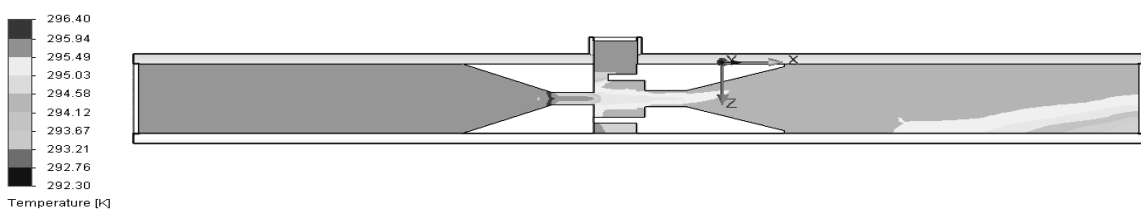
а)



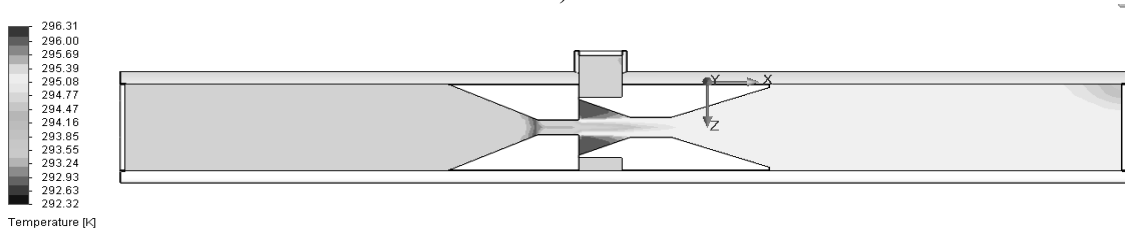
б)

*а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;  
б – камера змішування із конічною вхідною частиною*

**Рисунок 2 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою**



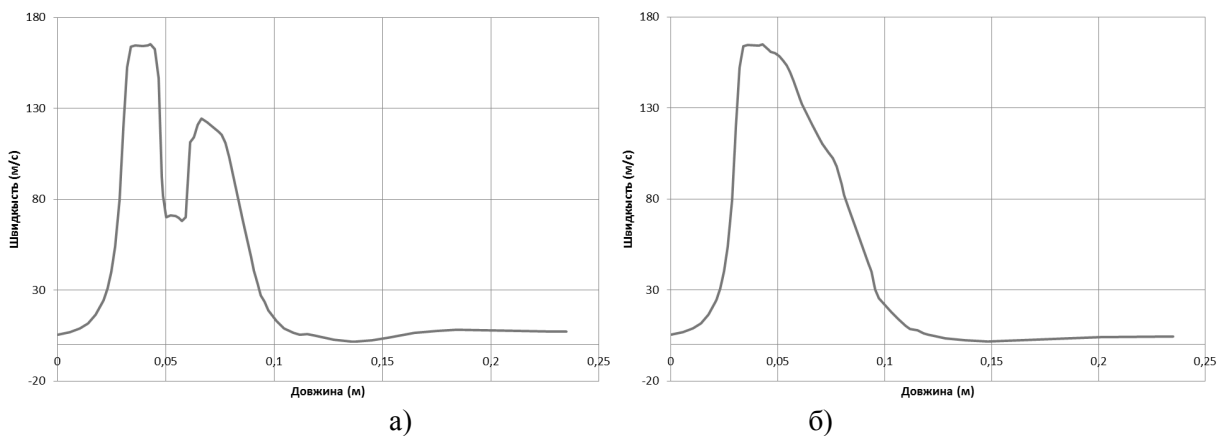
а)



б)

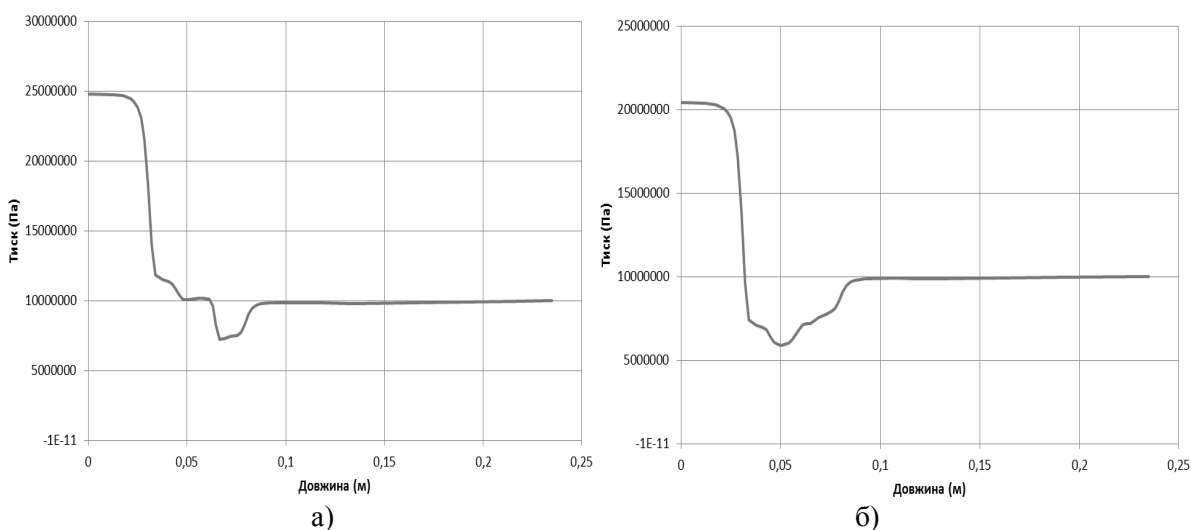
*а – камера змішування із циліндричною вхідною частиною;  
б – камера змішування із конічною вхідною частиною*

**Рисунок 3 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою**



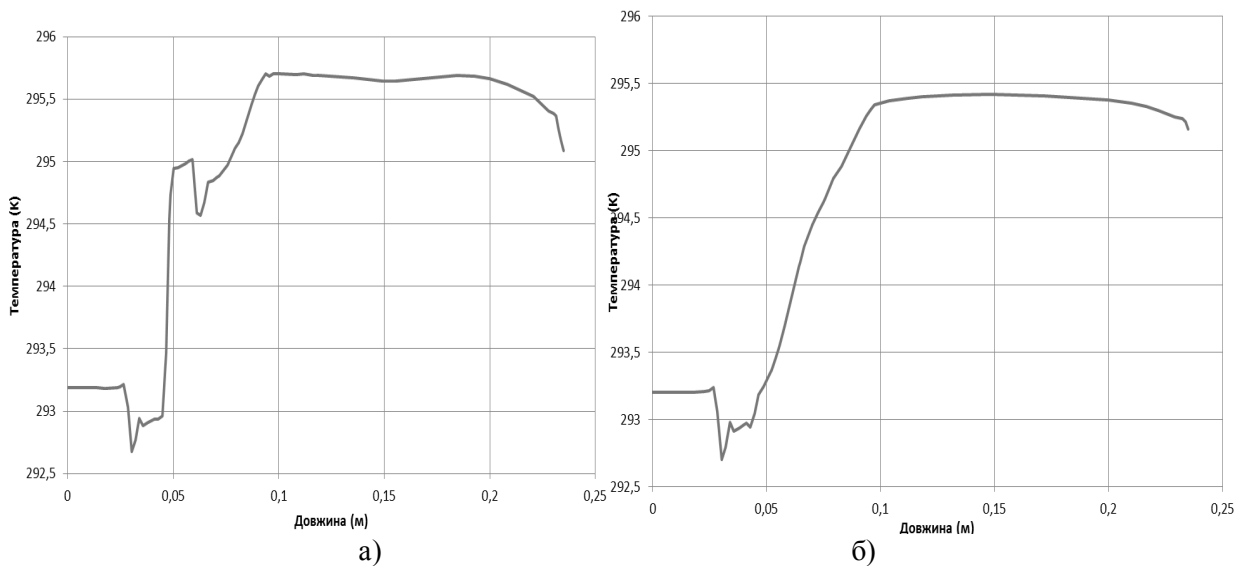
а) – камера змішування із циліндричною входною частиною;  
 б) – камера змішування із конічною входною частиною

**Рисунок 4 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**



а) – камера змішування із циліндричною входною частиною;  
 б) – камера змішування із конічною входною частиною

**Рисунок 5 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою**



а) – камера змішування із циліндричною входною частиною;  
 б) – камера змішування із конічною входною частиною

**Рисунок 6 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою**

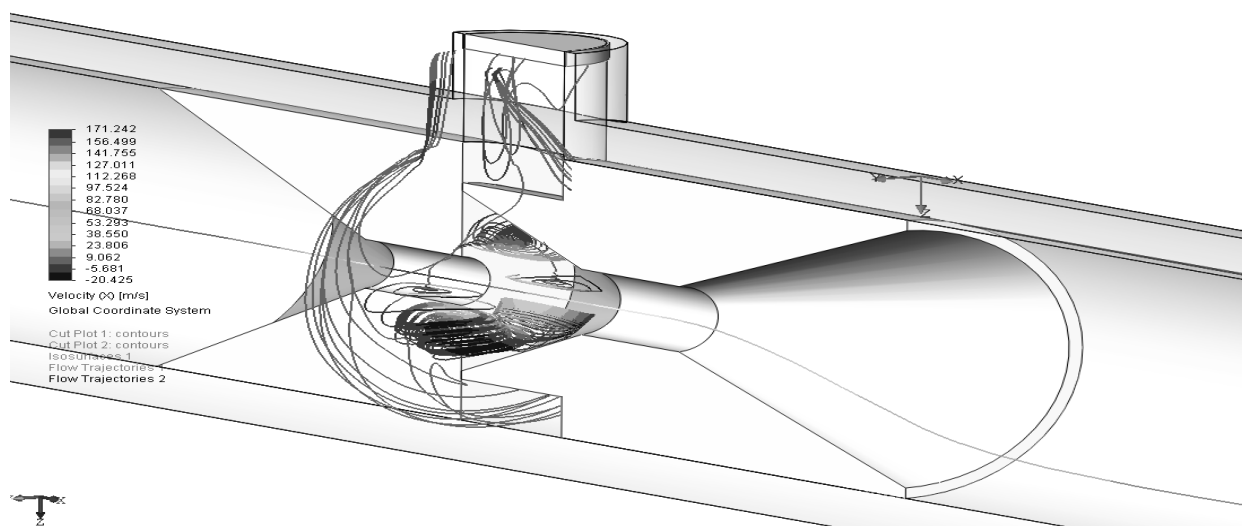


Рисунок 7 – Траскторія руху потоків рідини і повітря у камері змішування

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із соплами діаметром 4 і 6 мм відображений на рис. 8-10.

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 11) встановлено, що найбільша швидкість - у перерізі сопла: зменшується від 98,7 м/с до 41,4 м/с, але при цьому швидкість на виході із піногенеруючого пристрою зростає від 1,26 м/с до 1,41 м/с, що приводить до підвищення продуктивності пристрою.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 12) встановлено, що із збільшенням діаметра сопла необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижуються із 7 МПа за діаметра сопла від 4 мм до 1,4 МПа за діаметра сопла 6 мм. При цьому найменший тиск в камері змішування зростає із збільшенням діаметра сопла (відповідно 0,06 МПа і 0,5 МПа), що вказує на можливість зменшення тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій із зменшенням діаметра сопла.

Аналізуючи графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 13) встановлюємо, що температура в камері змішування різко підвищується і залишається такою вздовж напрямку руху суміші до виходу, але за більшого діаметра сопла стрибок температури менший, тож і на виході із пристрою температура піни зменшується.

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності (рис. 8-13), робимо висновок, що для експлуатації в конкретних умовах придатні піногенеруючі пристрої з різними діаметрами сопл.

Подальші дослідження односоплового піногенеруючого пристрою проводились для найбільш характерних граничних умов: подача рідини (води) на вході - 0,004 м<sup>3</sup>/с; тиск повітря на вході в відповідному патрубку - 10 МПа; тиск на виході з пристрою - 10 МПа.

Проводились дослідження піногенеруючого пристрою при зміні довжини камери змішування, для чого на виході з її циліндричної частини встановлювались додаткові кільцями однакового і різного діаметра. Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою із камерою змішування без додаткових кілець та із трьома додатковими кільцями відображений на рис. 14-16.

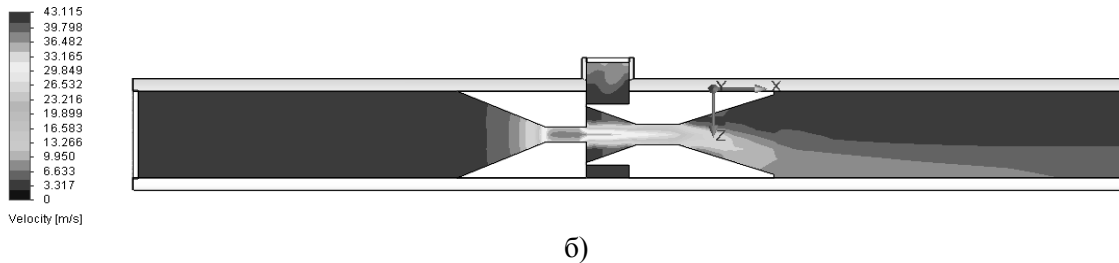
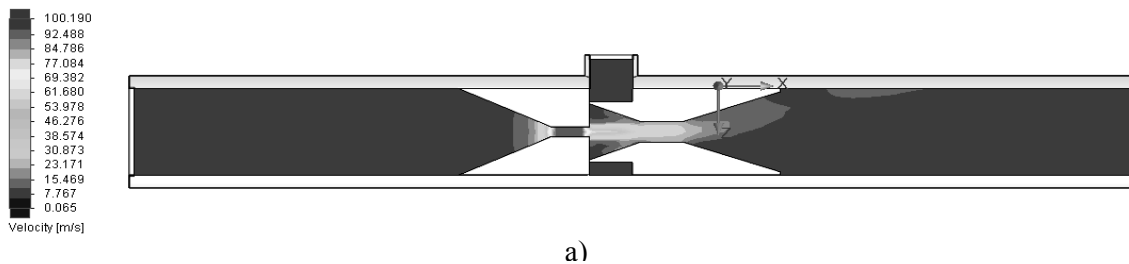
Аналізуючи графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою, зображеного на рис. 17, робимо висновок, що максимальна швидкість рідини при вході в сопло - незмінна, швидкість піни на виході більша у пристрою із 3-ма додатковими кільцями (відповідно 6,75 м/с та 7,72 м/с), у нього ж більш пологіше зменшення швидкості вздовж перерізу.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 18) встановлено, що необхідний тиск рідини на вході у піногенеруючий пристрій для забезпечення заданих граничних умов незмінний, у пристрої з трьома додатковими кільцями - мінімальний тиск менший (7,5 та 9,4 МПа) і його тривалість вздовж перерізу пристрою довшіа.

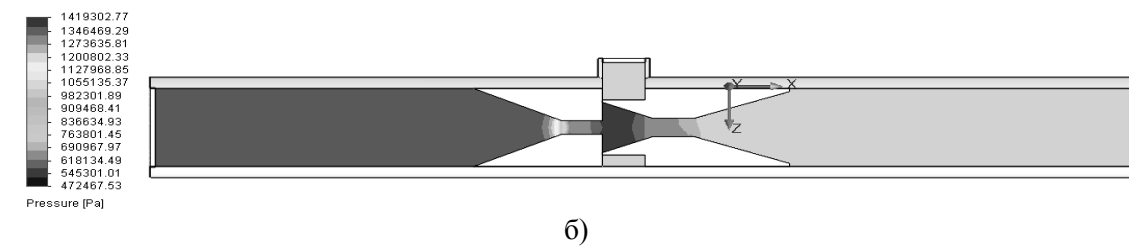
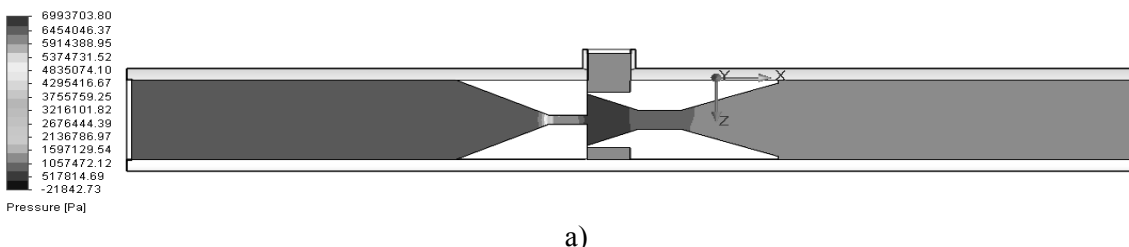
Аналізуючи графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою, (рис. 19) встановлено, що температура піни на виході в обох піногенеруючих пристроях практично однакова, спостерігається більш пологий стрибок підвищення температури у пристрої із трьома додатковими кільцями.

Розглянувши і проаналізувавши графічні залежності (рис. 14...19), зроблено висновок, що для експлуатації придатні піногенеруючі пристрої всіх розглянутих конструкцій, які можуть бути використані для конкретних умов.

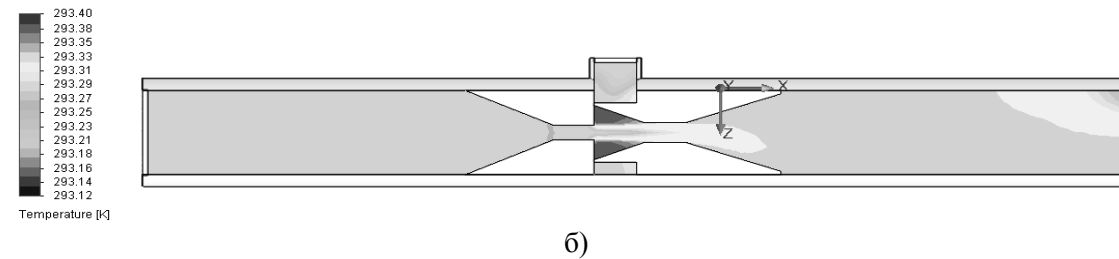
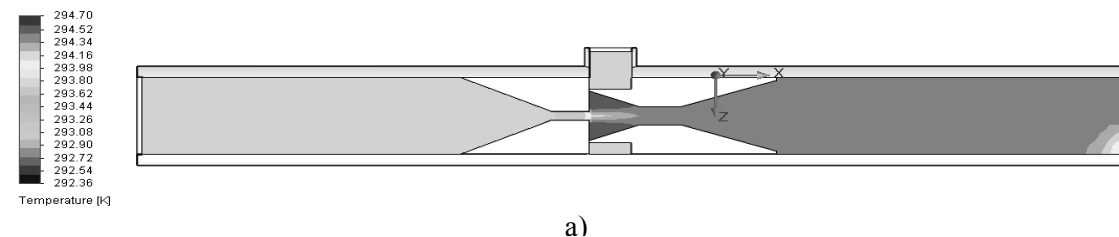
Проведено дослідження роботи піногенеруючого пристрою у випадку зміни довжини циліндричної частини сопла.



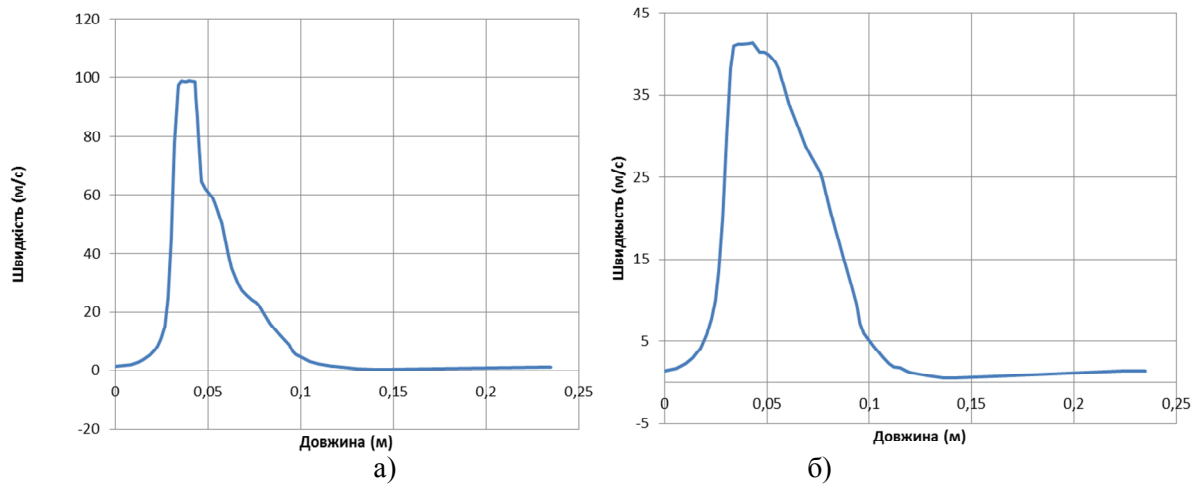
*a* – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;  
*б* – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм  
**Рисунок 8 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**



*a* – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;  
*б* – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм  
**Рисунок 9 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою**

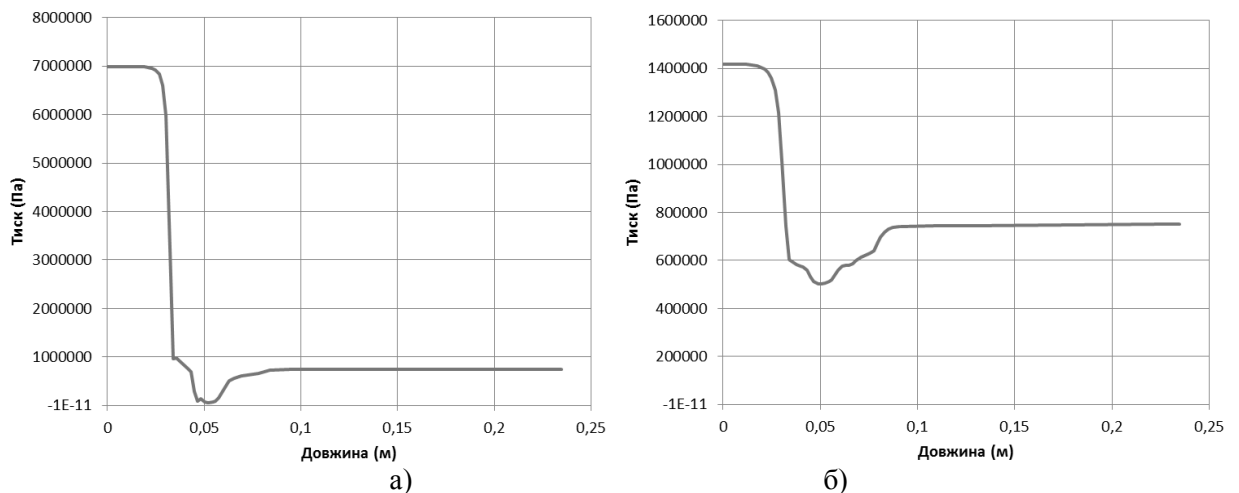


*a* – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;  
*б* – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм  
**Рисунок 10 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою**



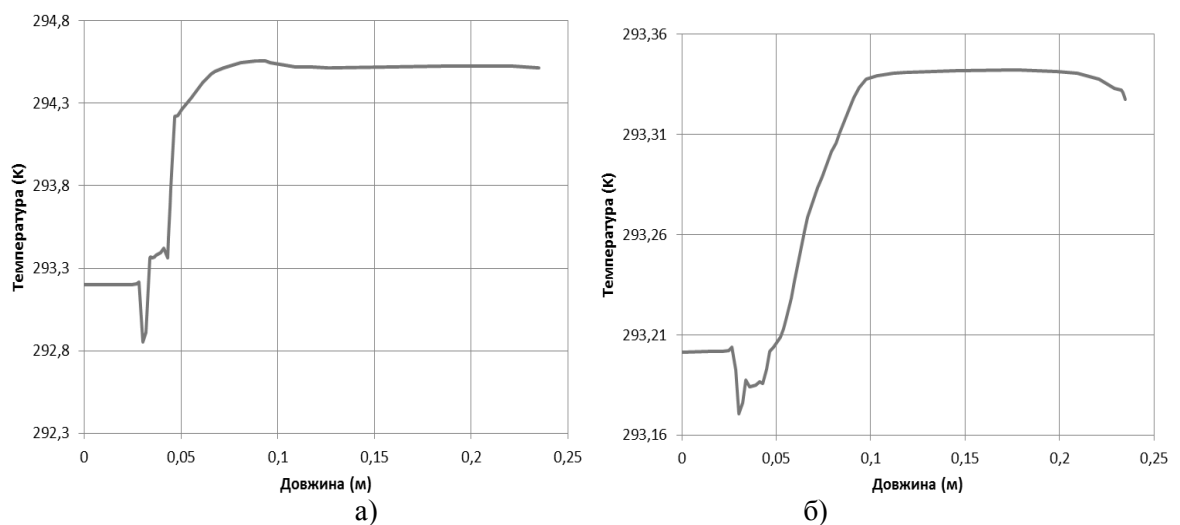
а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;  
б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 11 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



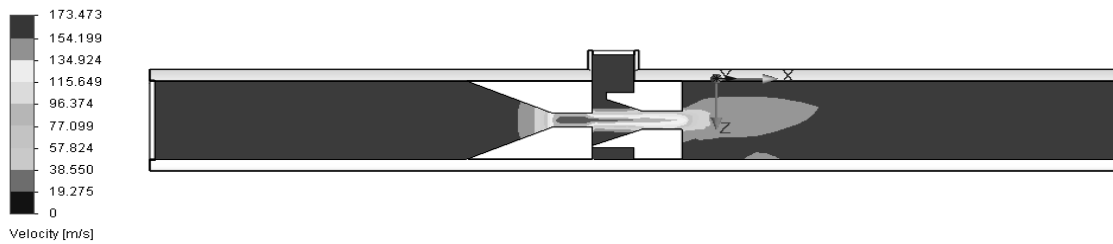
а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;  
б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 12 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою

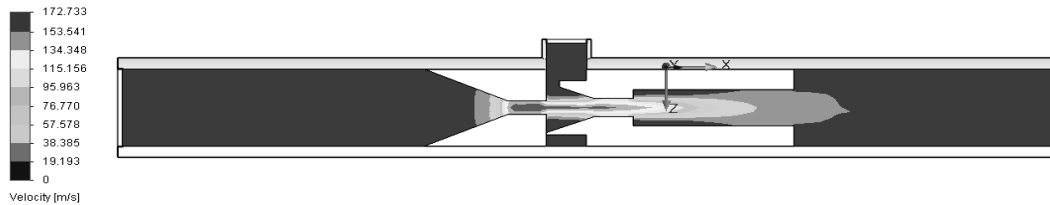


а – за діаметра циліндричної частини сопла 4 мм;  
б – за діаметра циліндричної частини сопла 6 мм

Рисунок 13 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою



а)

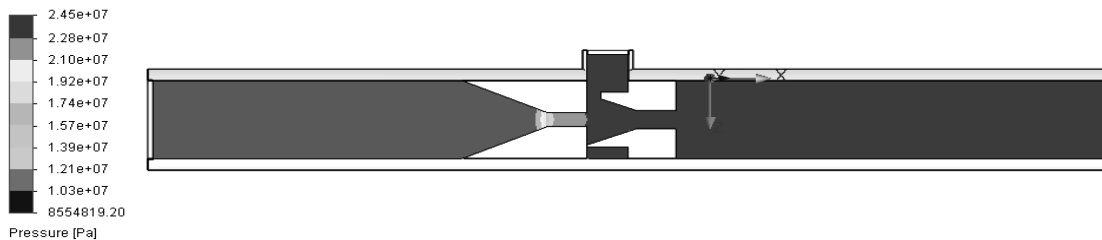


б)

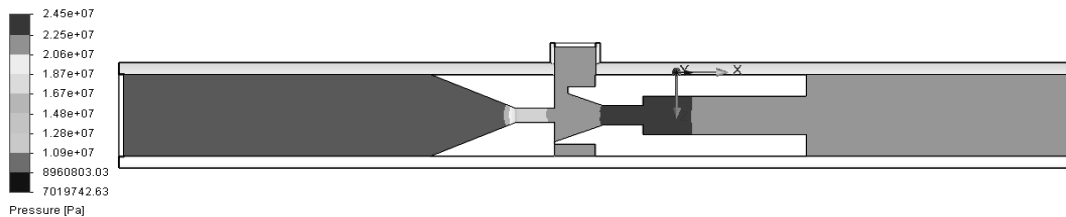
*а – камера змішування без додаткових кілець;*

*б – камера змішування з 3-ма додатковими кільцями*

**Рисунок 14 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**



а)

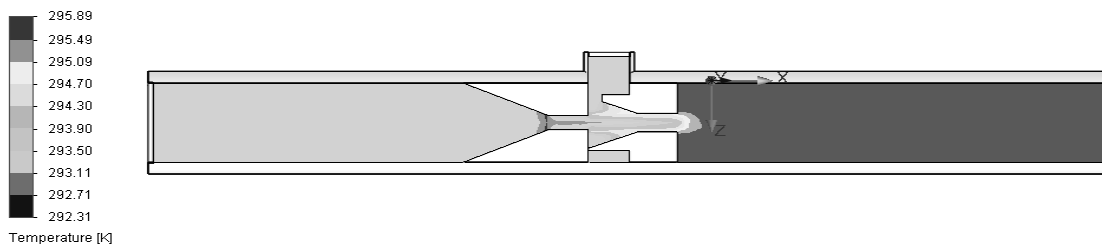


б)

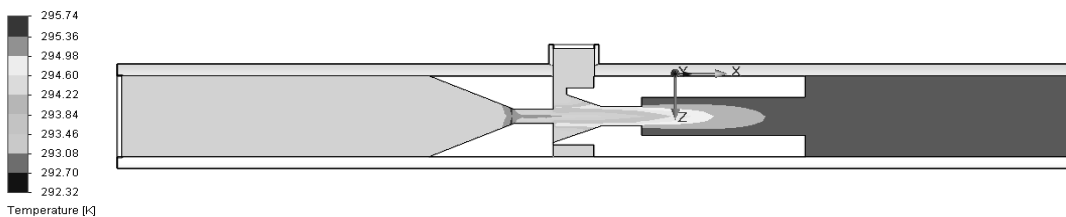
*а – камера змішування без додаткових кілець;*

*б – камера змішування з трьома додатковими кільцями*

**Рисунок 15 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою**



а)



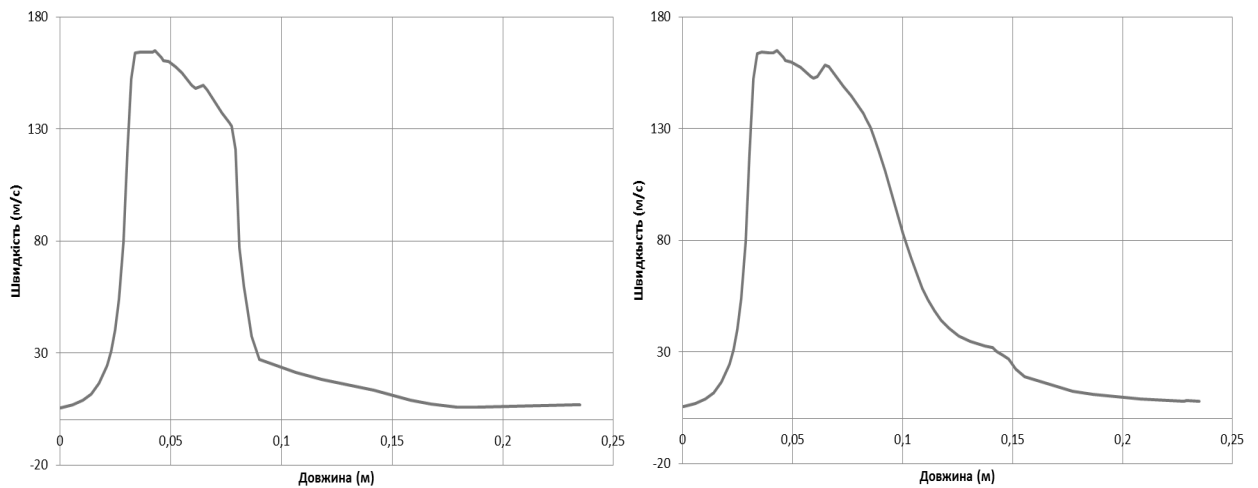
б)

*а – камера змішування без додаткових кілець;*

*б – камера змішування з трьома додатковими кільцями*

**Рисунок 16 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою**





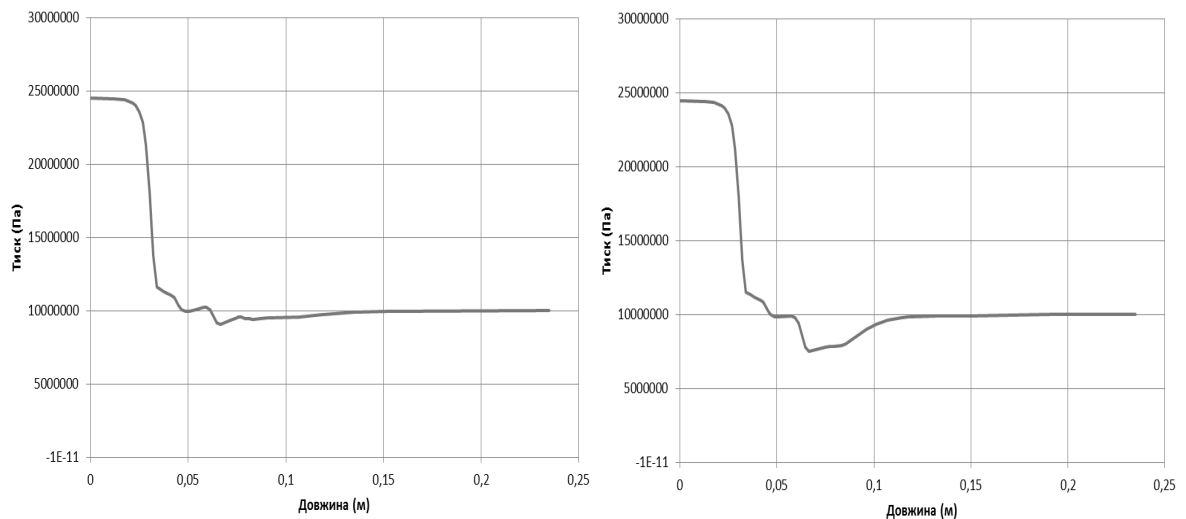
а)

б)

*а – камера змішування без додаткових кілець;*

*б – камера змішування з трьома додатковими кільцями*

**Рисунок 17 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**



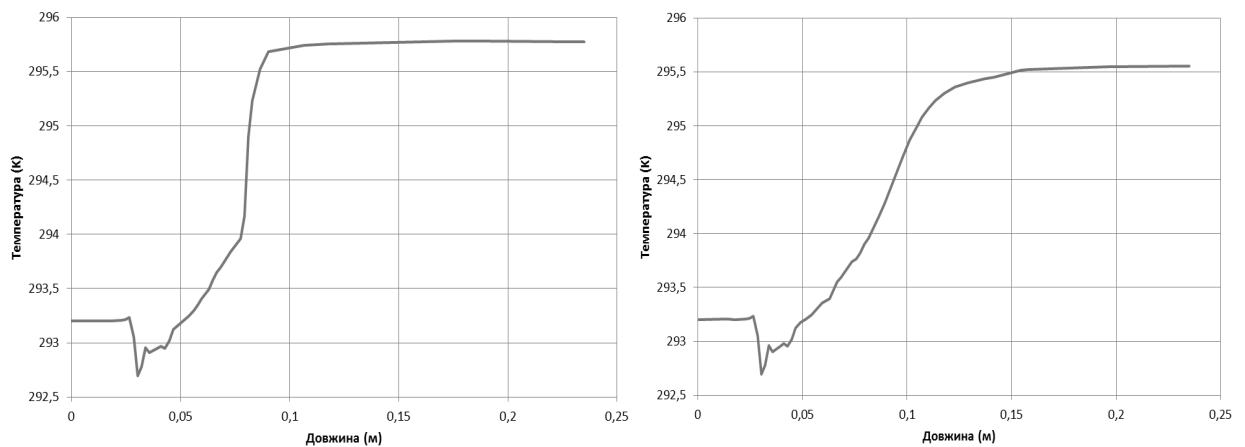
а)

б)

*а – камера змішування без додаткових кілець;*

*б – камера змішування з трьома додатковими кільцями*

**Рисунок 18 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою**



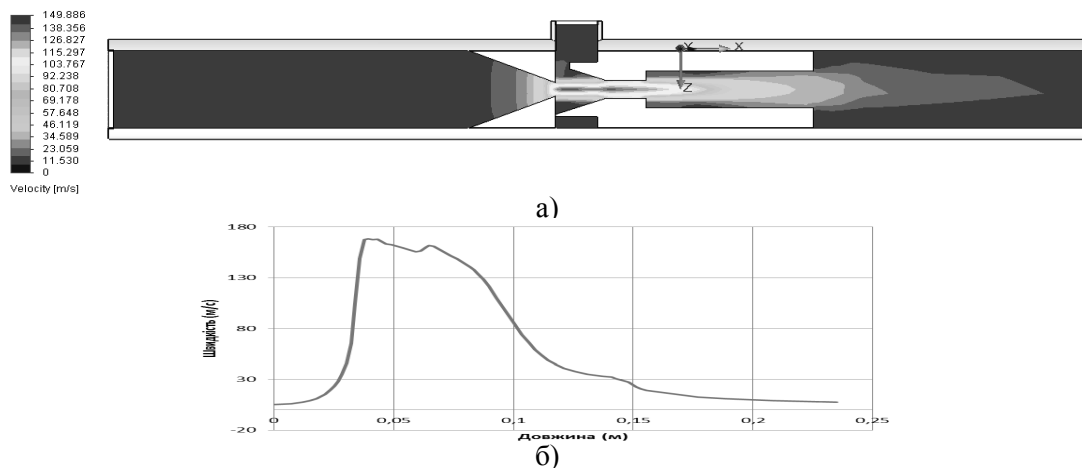
а)

б)

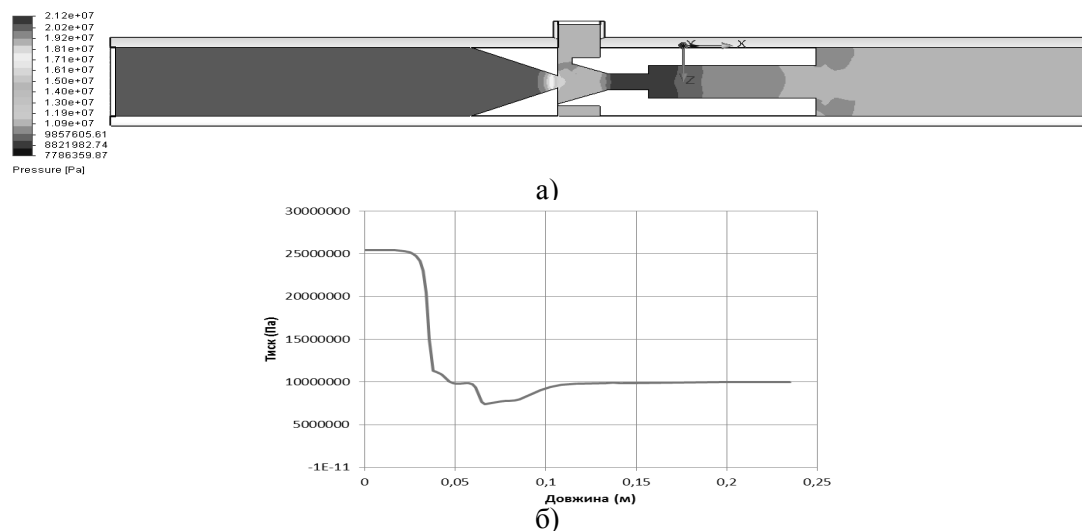
*а – камера змішування без додаткових кілець;*

*б – камера змішування з трьома додатковими кільцями*

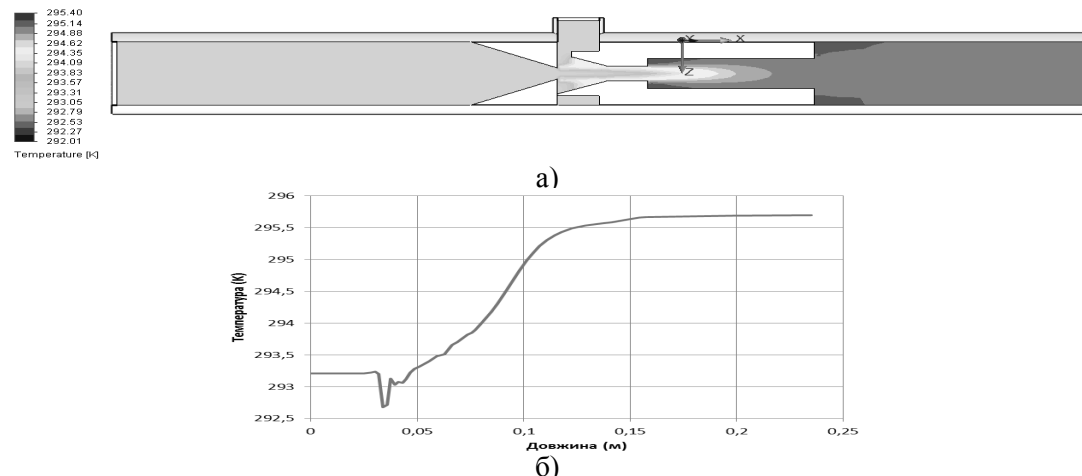
**Рисунок 19 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою**



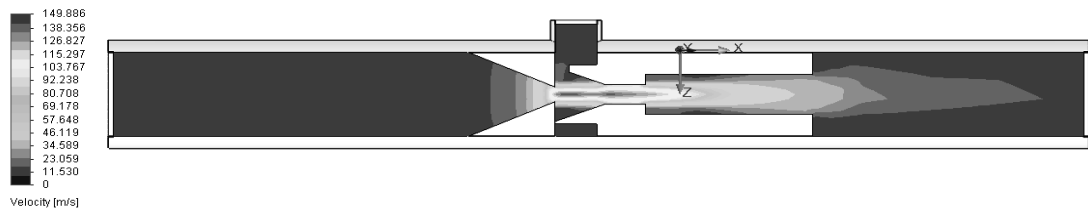
a – розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою;  
 б – графічна залежність розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою  
**Рисунок 20 – Характер зміни швидкості у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла**



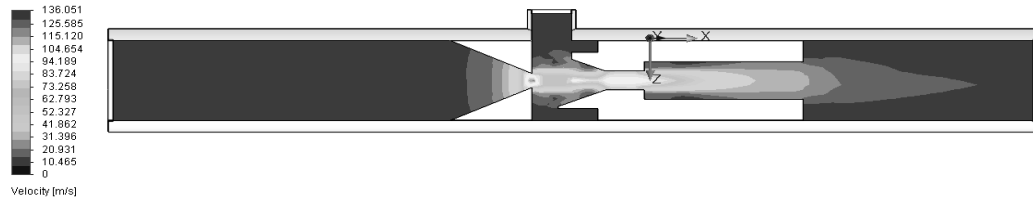
a – розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою;  
 б – графічна залежність розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою  
**Рисунок 21 – Характер зміни тиску в піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла**



a – розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою;  
 б – графічна залежність розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою  
**Рисунок 22 – Характер зміни температури в піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла**



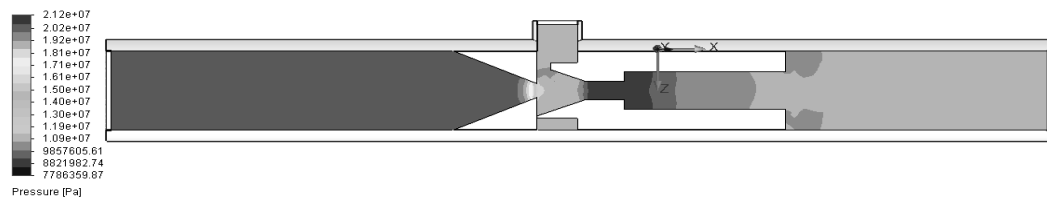
а)



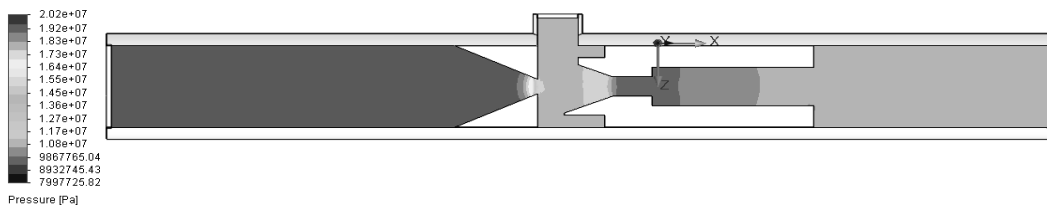
б)

а – при дотиканні сопла і камери змішування;  
 б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 23 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



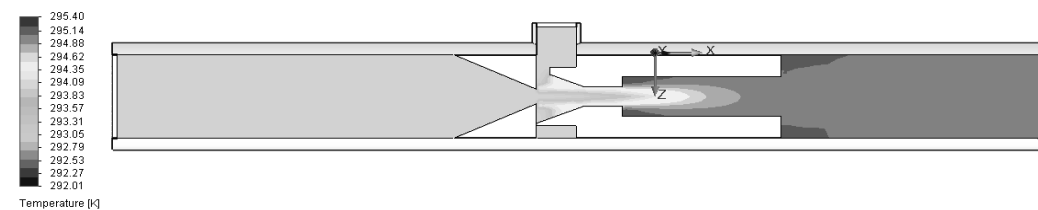
а)



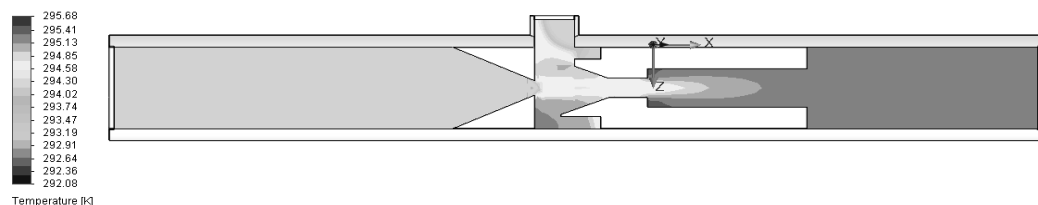
б)

а – при дотиканні сопла і камери змішування;  
 б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 24 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою



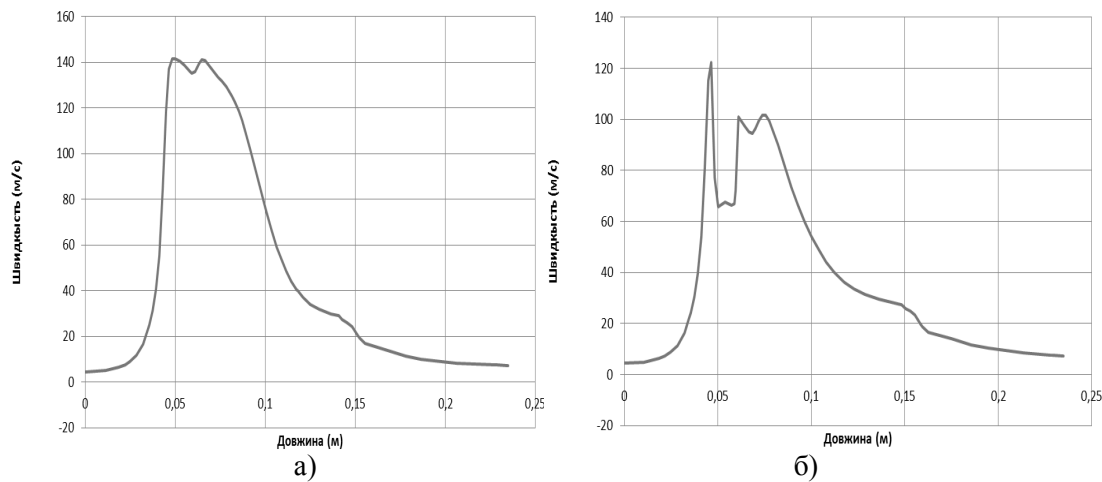
а)



б)

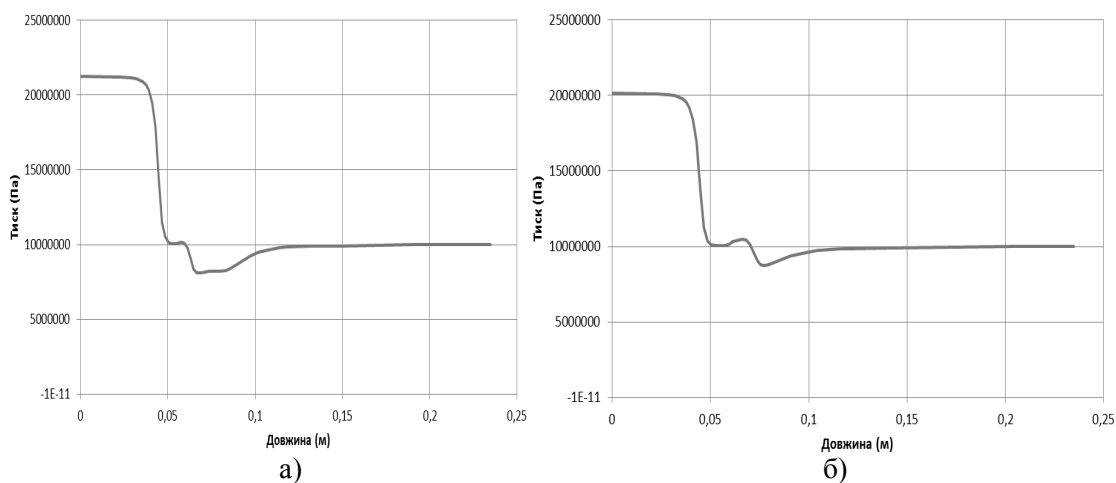
а – при дотиканні сопла і камери змішування;  
 б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 25 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою



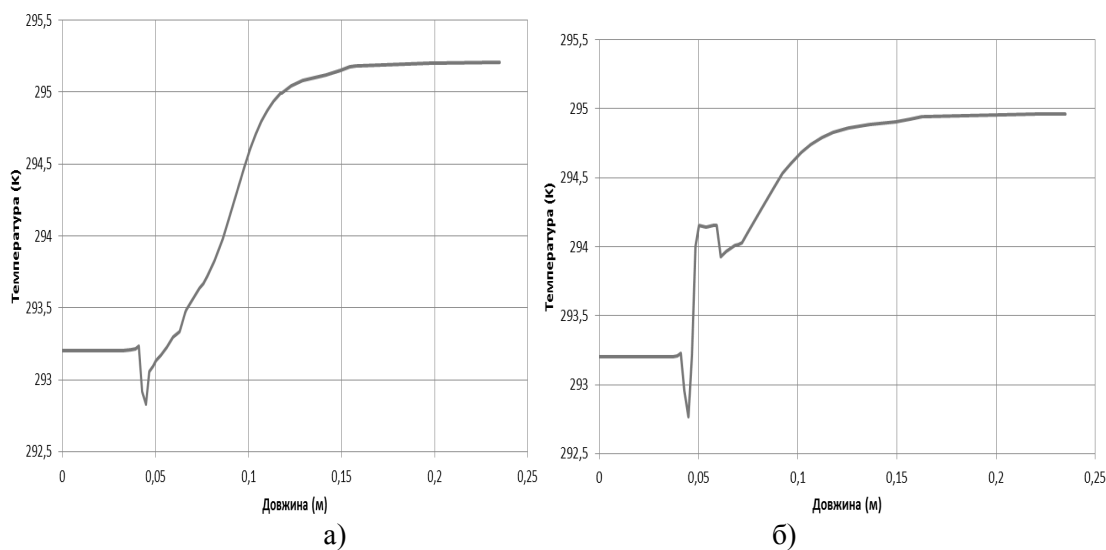
а – при дотиканні сопла і камери змішування;  
 б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 26 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою



а – при дотиканні сопла і камери змішування;  
 б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 27 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою



а – при дотиканні сопла і камери змішування;  
 б – за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм

Рисунок 28 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою

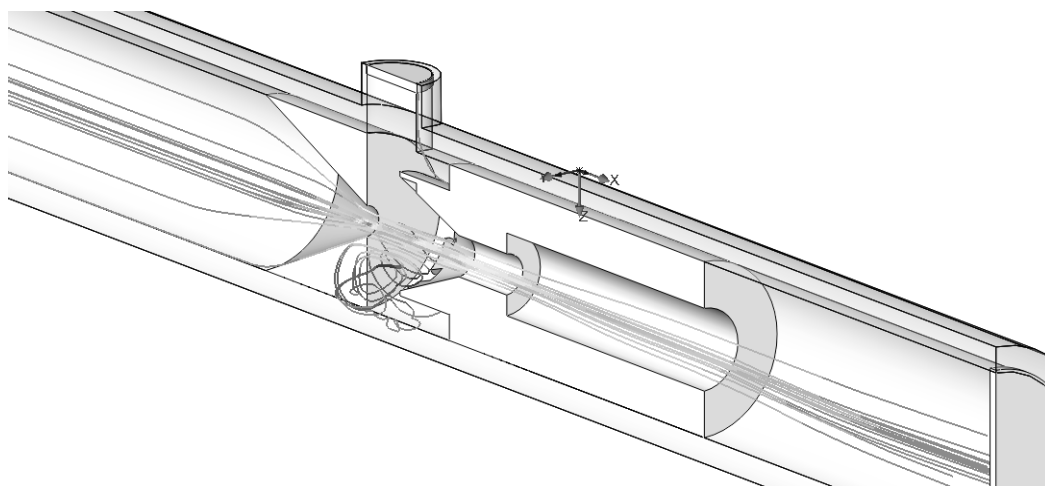


Рисунок 29 – Траєкторія руху потоків рідини, повітря та піни

Проаналізувавши графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою, встановлено, що із збільшенням довжини циліндричної частини сопла від 0 мм до 15 мм швидкість у соплі зростає від 141,3 м/с до 168 м/с, але стрибок при зменшенні швидкості більш плавний по довжині сопла. Швидкість піни на виході зростає від 7,05 м/с до 7,63 м/с, що підвищує продуктивність пристрою. Характер зміни швидкості у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла поданий на рис. 20.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою встановлено, із збільшенням довжини циліндричної частини сопла від 0 мм до 15 мм необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов зростають від 21,2 до 25,4 МПа, проте мінімальні тиски в камері змішування зменшуються з 8,4 МПа до 7,4 МПа, що дає змогу зменшувати тиск повітря на вході в пристрій. Характер зміни тиску у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла поданий на рис. 21.

Температура піни на виході із збільшенням довжини циліндричної частини сопла від 0 мм до 15 мм підвищується на 0,5 К, що суттєво не впливає на структуру піни. Характер зміни температури у піногенеруючому пристрої без циліндричної частини сопла поданий на рис. 22.

Згідно з результатами проведених досліджень комп'ютерного моделювання приймаємо довжину циліндричної частини сопла рівною 1...2 його діаметра.

Дослідження піногенеруючого пристрою проводились при зміні відстані між соплом і камерою змішування.

Розподіл швидкості, тиску і температури в поздовжньому перерізі пристрою при різній відстані між соплом і камерою змішування зображено на рис. 23-25.

Аналіз графічних залежностей розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 26) вказує на те, що із зростанням відстані між соплом і камерою змішування від 0 мм до 12 мм максимальне значення швидкості дещо зменшується - від 140,8 м/с до 122,4 м/с, але

при цьому значно збільшуються коливання швидкості (особливо в перерізі між соплом і камерою змішування) і швидкість піни на виході із піногенеруючого пристрою зменшується із 7,05 м/с до 5,72 м/с, що вказує на зниження продуктивності пристрою.

За результатами аналізу графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 27) встановлено, що із збільшенням відстані між соплом і камерою змішування необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов знижуються від 21,2 МПа при дотиканні сопла і камери змішування до 20,2 МПа при відстані між соплом і камерою змішування 12 мм; при цьому зростає найменший тиск в камері змішування (з 8,2 МПа до 8,93 МПа), що дещо погіршує умови для зниження тиску повітря на вході у піногенеруючий пристрій.

При збільшенні відстані між соплом і камерою змішування від 0 мм до 12 мм (рис. 28) температура на виході із пристрою зростає, а також відбувається її різкий стрибок в перерізі між соплом і камерою змішування.

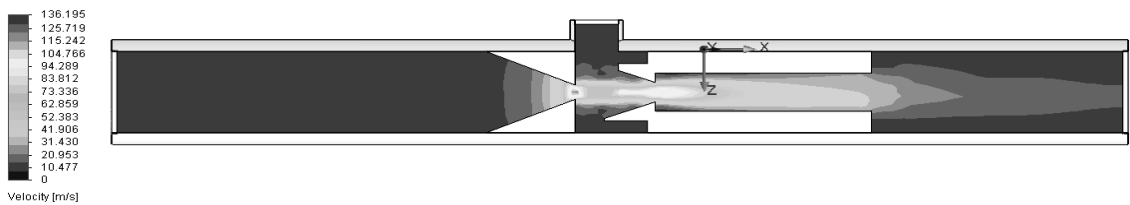
На рис. 29 зображено траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни за відстані між соплом і камерою змішування 12 мм.

Згідно з результатами проведених досліджень, враховуючи зниження мінімального тиску та температури на виході із пристрою, а також підвищення його продуктивності, рекомендується використовувати піногенеруючий пристрій, у якому сопло дотикається до камери змішування.

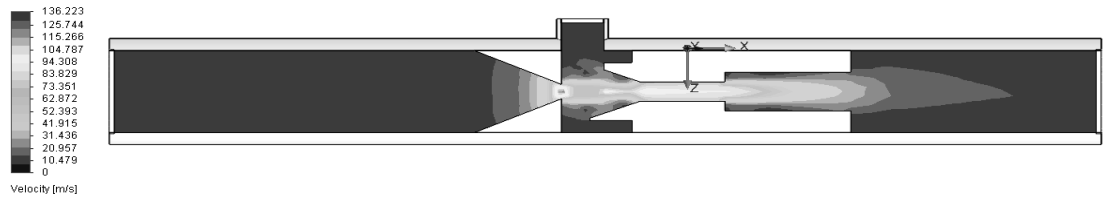
Проведено дослідження роботи піногенеруючого пристрою при зміні довжини циліндричної частини камери змішування.

Розподіл швидкості, тиску і температури рідини в поздовжньому перерізі пристрою при зміні довжини циліндричної частини камери змішування зображено на рис. 30-32.

Під час аналізу графічних залежностей розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 33) встановлено, що максимальна швидкість рідини при вході у сопло фактично однакова (122,4–122,6 м/с), але швидкість піни на виході із піногенеруючого пристрою

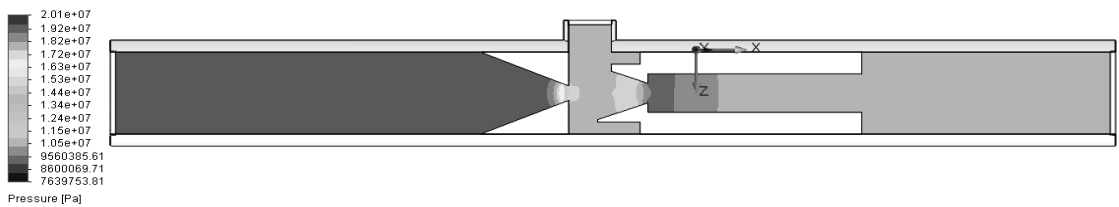


а)

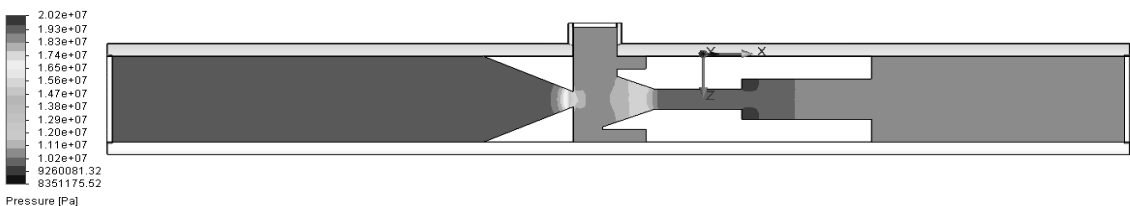


б)

а – камера змішування без циліндричної частини;  
 б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм  
**Рисунок 30 – Розподіл швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**

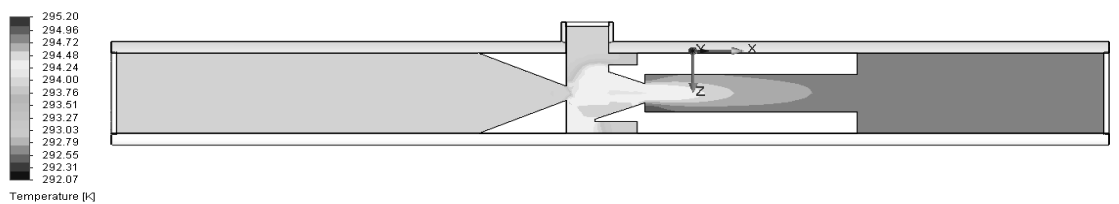


а)

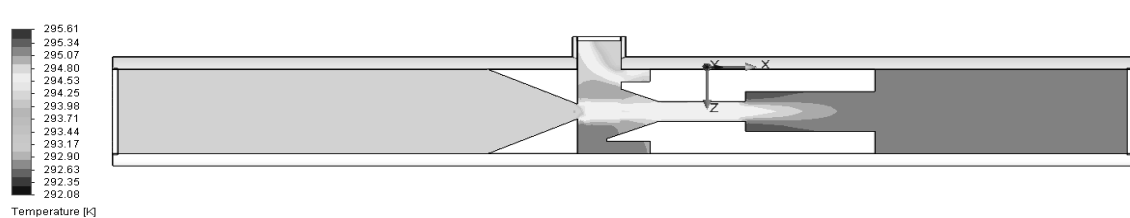


б)

а – камера змішування без циліндричної частини;  
 б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм  
**Рисунок 31 – Розподіл тиску в поздовжньому перерізі пристрою**

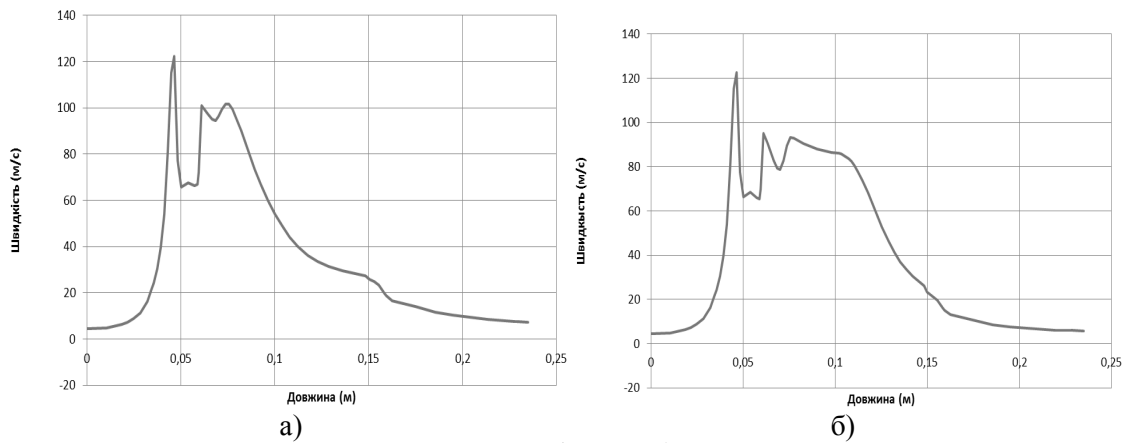


а)



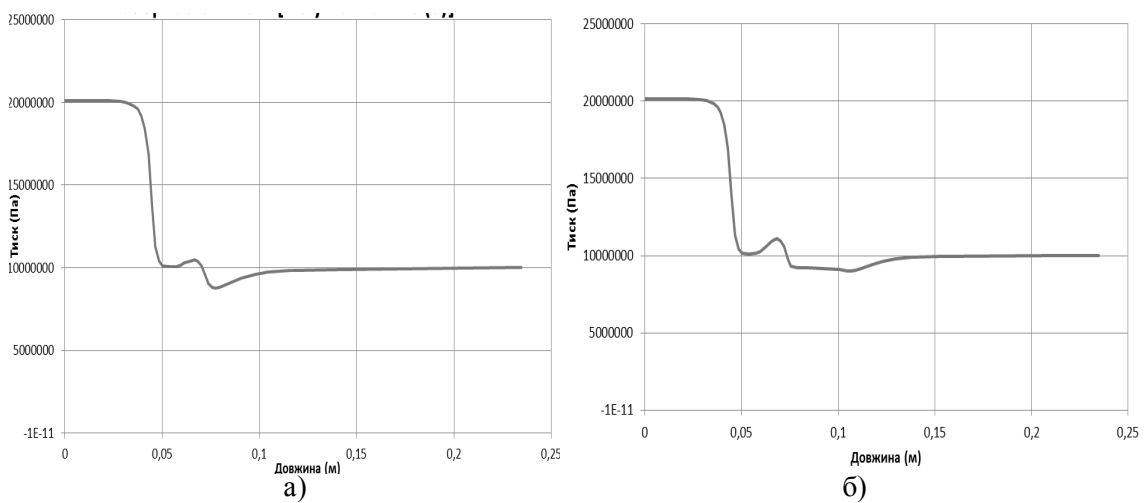
б)

а – камера змішування без циліндричної частини;  
 б – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм  
**Рисунок 32 – Розподіл температури в поздовжньому перерізі пристрою**



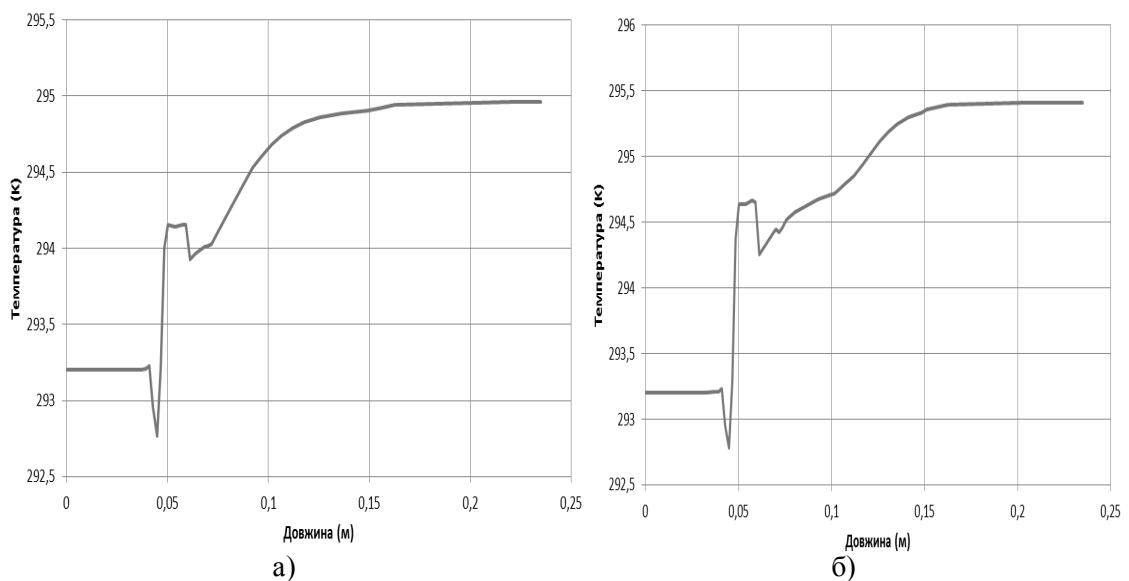
а) – камера змішування без циліндричної частини;  
 б) – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

**Рисунок 33 – Графічні залежності розподілу швидкості в поздовжньому перерізі пристрою**



а) – камера змішування без циліндричної частини;  
 б) – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

**Рисунок 34 – Графічні залежності розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою**



а) – камера змішування без циліндричної частини;  
 б) – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 10 мм;  
 в) – камера змішування з циліндричною частиною довжиною 30 мм

**Рисунок 35 – Графічні залежності розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою**

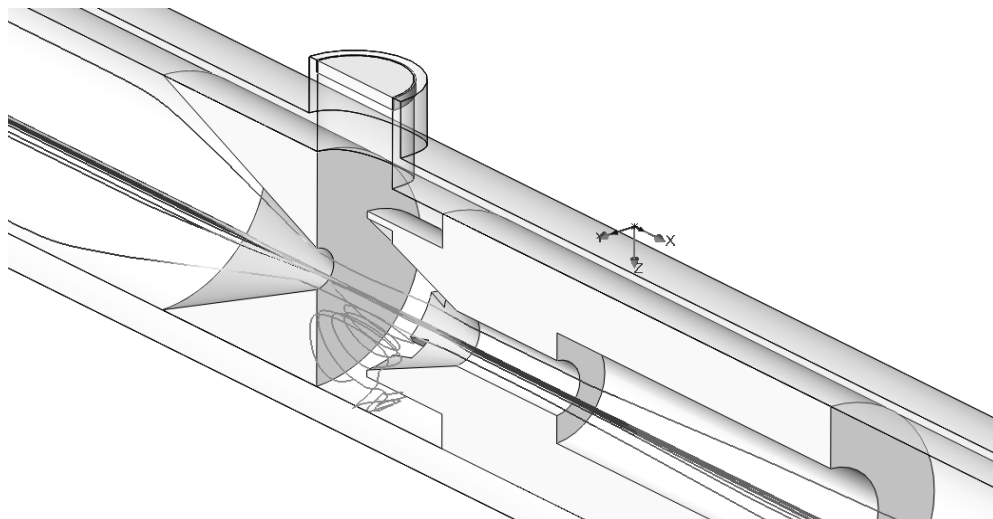


Рисунок 36 – Траєкторія руху потоків рідини, повітря та піни

зменшується від 7,24 м/с до 5,6 м/с, що вказує на нижчу продуктивність пристрою із довгою циліндричною камерою змішування.

При аналізі графічних залежностей розподілу тиску в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 34) встановлено, що у разі збільшення довжини циліндричної частини камери змішування необхідні тиски рідини на вході для забезпечення заданих граничних умов, а також мінімальні тиски в камері змішування, фактично не змінюються, але при цьому зростає тривалість найменшого тиску вздовж перерізу пристрою.

При збільшенні довжини циліндричної частини камери змішування температура піни на виході із пристрою зростає, що видно з аналізу графічних залежностей розподілу температури в поздовжньому перерізі пристрою (рис. 35).

На рис. 36 зображено траєкторії руху потоків рідини, повітря та піни у піногенеруючому пристрої із камерою змішування, довжина циліндричної частини складає 30 мм.

Згідно з проведеним комп'ютерним дослідженням прийнято довжину циліндричної частини камери змішування рівною 1–1,5 її діаметра.

### Висновки

Проведені комп'ютерні дослідження піногенеруючого пристрою підтвердили результати експериментальних досліджень.

Порівнюючи характеристики піногенеруючих пристроїв різних типів можна дати рекомендацію, що для створення моделі п'ятисполового піногенеруючого пристрою необхідно використовувати камери змішування із кінцевою вхідною частиною, різними довжинами камер змішування та довжиною циліндричної частини камери змішування рівною 1–1,5 її діаметра.

Піногенеруючі пристрої з можливістю заміни сопел різних діаметрів в межах 4–6 мм будуть високоефективними для певних конкретних умов їх застосування. Довжину циліндричної частини сопла рекомендується прийняти рівною 1–2 її діаметра.

Отримані результати є основою для розроблення піногенеруючих пристроїв та проведення експериментальних і промислових їх досліджень.

### Література

- 1 Мислюк М.А. Буріння свердловин: Довідник: 5т. / М.А. Мислюк, І.А. Рибчик, 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 Нестеренко Н.П. Влияние рабочих параметров пеногенерирующих устройств на сохранение коллекторских свойств продуктивных пластов / Н.П.Нестеренко, В.М.Савик, М.М.Лях // Материалы конференции GEOPETROL 2008, (Закопане, 15-18.09.2008); PRACE Instytutu Nafty i Gazu. – 2008. - № 150 — С. 693-698.
- 6 Boyun G. Petroleum Production Engineering / Boyun Guo, William C. Lyons, Ali Ghalambor // Gulf Professional Publishing. – 2007 – p. 312.
- 7 Патент 35717 України, МПК В01F 3/04, E02B 8/00. Піногенеруючий пристрій / Лях М.М., Савик В.М., Лужаниця О.В., Тимошенко В.М., Фурса Р.П., Вакалюк В.М.; заявл. 10.08.2006; опубл. 10.10.2008, Бюл. 19 – 6 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
07.06.12

Рекомендована до друку професором  
Копєсєм Б.В.