

**ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ**

УДК 662.92

**С.А. Беспалько, асист.**  
**Г.Є. Калейніков, к.т.н., доц.**  
**С.П. Поляков, д.т.н., проф.**

*Черкаський державний технологічний університет*

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИСИПАТИВНОГО  
НАГРІВАННЯ РІДИНИ У ПУЛЬСУЮЧОМУ ПОТОЦІ**

*Проведено дослідження процесів дисипативного нагрівання рідини на місцевому гідравлічному отворі. Розроблено пристрій для моделювання пульсуючого потоку. Визначено конструктивні параметри резонаторів для досягнення конкретних значень частоти та амплітуди пульсацій тиску.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Відомо, що дія пульсацій тиску на об'єм газу, який знаходиться в напівзакритих порожнинах, каналах, тупиках, призводить до його розігрівання. Даний ефект отримав назву газодинамічного або термоакустичного нагрівання. Причинами цього є дисипація енергії в ударних хвилях і в пограничних шарах на стінках порожнини [1–5].

Газодинамічне нагрівання при заданих пульсаціях тиску на вході застосовують у газовій промисловості, енергетиці та ін. Даний вид термоакустичного нагрівання виникає в технологічних тупиках, вимірювальних трактах та інших напівзакритих порожнинах, відкритий кінець яких під'єднаний до зон із підвищеним рівнем пульсацій. При високих рівнях пульсацій тиску стінки порожнини можуть нагріватись до  $T = 300 \div 600$  °С.

Більш інтенсивно термоакустичне нагрівання проходить при автоколиваннях. У цьому випадку стінки порожнини можуть нагріватись до  $T > 1400$  °С, що застосовується для підпалювання паливних сумішей [1].

Незважаючи на комплекс проведених різних досліджень термоакустичного нагрівання газоподібних середовищ, на сьогоднішній день процеси дисипативного нагрівання рідин у пульсуючих потоках вивчені недостатньо.

**Мета дослідження.** В роботі ставиться завдання встановлення закономірностей дисипативного нагрівання рідини на місцевому гідравлічному опорі при накладанні на потік пульсацій тиску заданої амплітуди та частоти.

**Викладення основного матеріалу.** Процес дисипативного нагрівання рідини в пульсуючому потоці на місцевому гідравлічному опорі досліджували на експериментальному стенді, схема якого представлена на рис. 1.

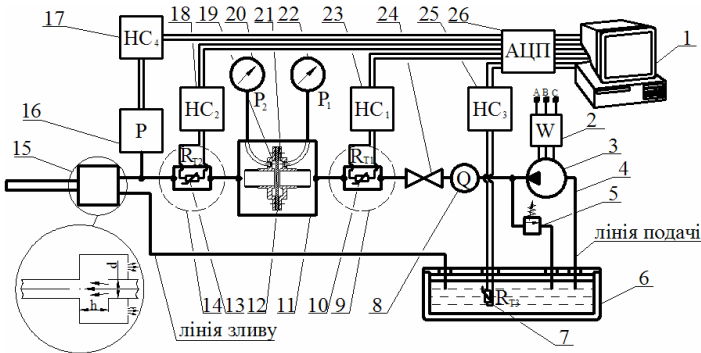


Рис. 1. Функціональна схема експериментального стенда:

1 – персональний комп'ютер; 2 – лічильник електроенергії СА4-И672М; 3 – насос АХИ 3/80-0.4-В-М-У2; 4 – трубопровід; 5 – запобіжний клапан; 6 – бак; 7, 10, 13 – температурні датчики HEL-705; 8 – витратомір KB-2.5; 9, 14 – вузли трубопроводу з датчиками; 11 – модельний осередок; 12 – діафрагма; 15 – пристрій для створення пульсацій; 16 – датчик тиску IPT-600; 17, 18, 23, 25 – нормалізатори сигналів; 19, 21 – камери для вимірювання статичного тиску; 20, 22 – манометри МОШ-100; 24 – вентиль; 26 – аналого-цифровий перетворювач АЦП 26

Для вимірювання пульсацій тиску в трубопроводі використовували датчик тиску 16. Температурні вимірювання виконувались платиновими термометрами опору 7, 10, 13, які встановлювалися відповідно у теплоізолюваний бак 6 та у вузли 9, 14 трубопроводу. Аналоговий сигнал із температурних датчиків та датчика тиску подавався через нормалізатори сигналів 17, 18, 23, 25 на вхід АЦП та оброблявся за допомогою персонального комп'ютера 1. Швидкість протікання рідини крізь модельний осередок регулювали за допомогою вентилля 24.

Величину дисипативного нагрівання рідини в модельному осередку визначали за різницею показів температурних датчиків  $R_{T1}$  та  $R_{T2}$ .

Пульсації потоку на місцевому гідравлічному опорі створювали спеціально розробленим пристроєм 15. В основу роботи даного

пристрою (рис. 2) покладено принцип генерування коливань потоку при натіканні швидкісного струменя рідини на порожнину циліндричного резонатора. Амплітуда та частота коливань потоку регулювалася зміною швидкості струменя рідини, що направлявся соплом 1 на вхід у порожнину резонатора 3. Основним конструктивним параметром пристрою є довжина порожнистого циліндричного резонатора. Вона впливає на значення амплітуди та частоти пульсацій тиску. В експериментах використовували резонатори різної довжини: 144 мм, 239 мм та 718 мм, що відповідає основним частотам порожнистого об'єму: 2500 Гц, 1500 Гц та 500 Гц. Діаметр порожнини усіх резонаторів – 5 мм.

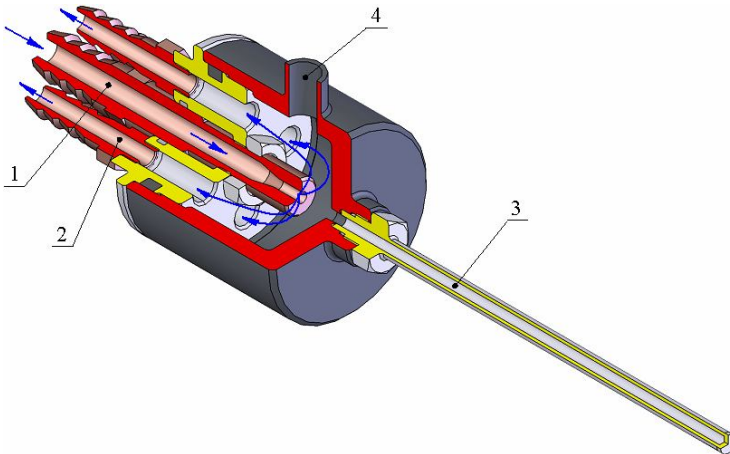


Рис. 2. Пристрій для моделювання пульсуючого потоку:  
1, 2 – штуцери для подачі та відведення робочої рідини;  
3 – трубчастий резонатор;  
4 – місце кріплення датчика тиску IPT-600

Похибки при вимірюванні температури та тиску визначали за стандартними методиками [6]. В результаті розрахунку отримано, що сума систематичної та випадкової похибок температурних вимірювань становить  $\pm 0,15\%$ , а динамічна похибка вимірювань пульсацій тиску складає  $\pm 1,4\%$ .

На рис. 3 представлені амплітудно-частотні спектри пульсацій тиску, що збуджувались у трубопроводі при натіканні струменя рідини зі швидкістю  $v = 24,5$  м/с на порожнини циліндричних резонаторів різної довжини  $L$ . Залежності отримано в результаті аналізу

амплітудно-частотного спектра сигналу датчика тиску.

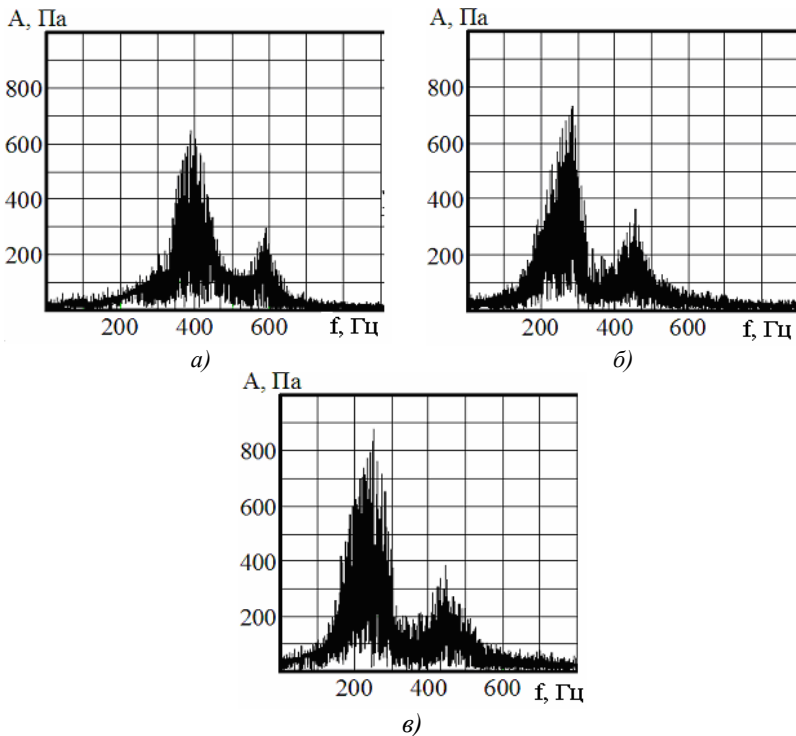


Рис. 3. Амплітудно-частотний спектр пульсацій тиску:  
а) – довжина порожнини  $L = 144$  мм;  
б) –  $L = 239$  мм; в) –  $L = 718$  мм

На представлених амплітудно-частотних спектрах можна виділити два піки, частотний інтервал, між якими однаковий для всіх трьох випадків і складає приблизно 200 Гц. Перший пік розташований в області нижніх частот з максимальним значенням амплітуди; другий – в області більш високих частот із меншим значенням амплітуди. Для подальшого аналізу використовували значення частотних діапазонів, що відповідали максимальним амплітудам імпульсів (перший пік).

Збільшення довжини резонатора призводить до зміщення інтервалу домінуючих гармонік в сторону менших частот. При цьому значення амплітуд домінуючих гармонік навпаки збільшуються. Було встановлено, що значення амплітуди та частоти пульсацій залежить від

швидкості струменя рідини. На рис. 4, 5, 6 наведено залежності амплітуди та частоти пульсацій від швидкості струменя, а також амплітудно-частотну характеристику пульсацій тиску в трубопроводі гідравлічної системи. Визначено, що при збільшенні швидкості струменя збільшується і амплітуда, і частота коливань.

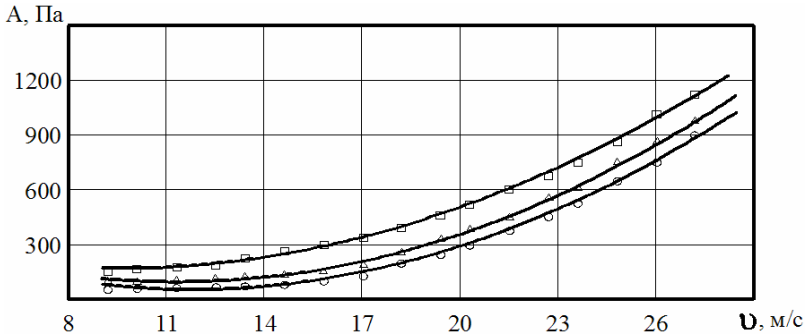


Рис. 4. Залежність амплітуди пульсацій від швидкості струменя:

○ –  $L = 144$  мм; △ –  $L = 239$  мм; □ –  $L = 718$  мм

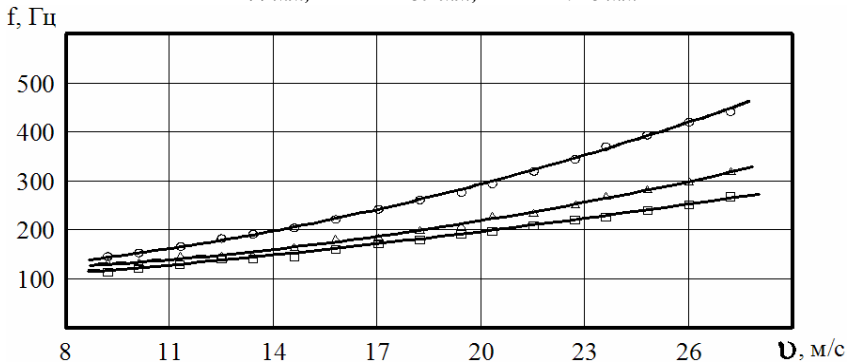


Рис. 5. Залежність частоти пульсацій від швидкості струменя:

○ –  $L = 144$  мм; △ –  $L = 239$  мм; □ –  $L = 718$  мм

За амплітудно-частотними характеристиками (рис. 6) можна встановити межі застосування резонаторів різних довжин для досягнення конкретних значень частоти та амплітуди пульсацій тиску. Так, для резонатора довжиною 144 мм частотний діапазон лежить у межах від 140 Гц до 450 Гц, але амплітудні значення обмежені величиною 900 Па. Резонатору довжиною 718 мм характерний вузький

частотний діапазон від – 120 Гц до 265 Гц, але при цьому максимальне значення амплітуди пульсацій сягає 1100 Па.

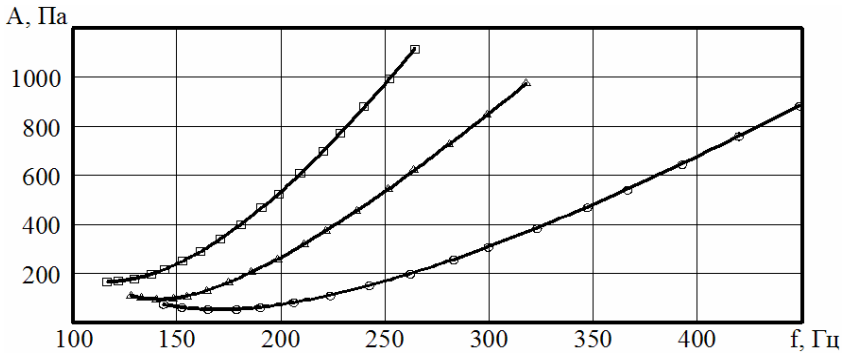


Рис. 6. Амплітудно-частотний спектр пульсацій тиску в трубопроводі:  $\circ$  –  $L = 144$  мм;  $\Delta$  –  $L = 239$  мм;  $\square$  –  $L = 718$  мм

Додаткове дисипативне нагрівання рис. 7 можливо отримати при проходженні потоку рідини через місцевий гідравлічний опір, виконаний у вигляді діафрагми діаметром 7,2 мм (рис.1, поз.12).

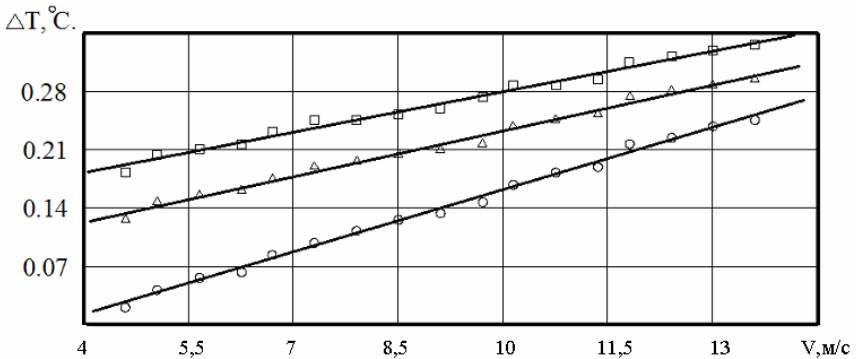


Рис. 7. Залежність дисипативного нагрівання від витрати рідини при проходженні через діафрагму:  $\circ$  –  $L = 144$  мм;  $\Delta$  –  $L = 239$  мм;  $\square$  –  $L = 718$  мм

Залежність величини дисипативного нагрівання від амплітуди та частоти пульсацій представлені на рис. 8–9.

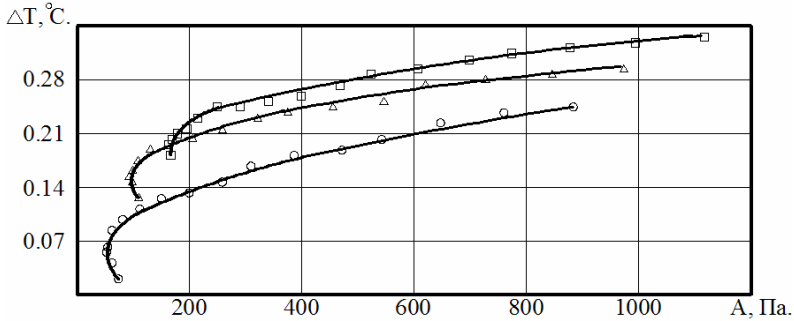


Рис. 8. Залежність дисипативного нагрівання від амплітуди пульсацій:  $\circ$  –  $L = 144$  мм;  $\Delta$  –  $L = 239$  мм;  $\square$  –  $L = 718$  мм

Аналіз графіків (рис. 7–9) показав, що збільшення амплітуди та частоти пульсацій призводить до підвищення температури потоку на місцевому гідравлічному опорі. При цьому більші значення нагрівання спостерігаються при застосуванні резонатора довжиною 718 мм, для якого характерні високі значення амплітуд пульсацій.

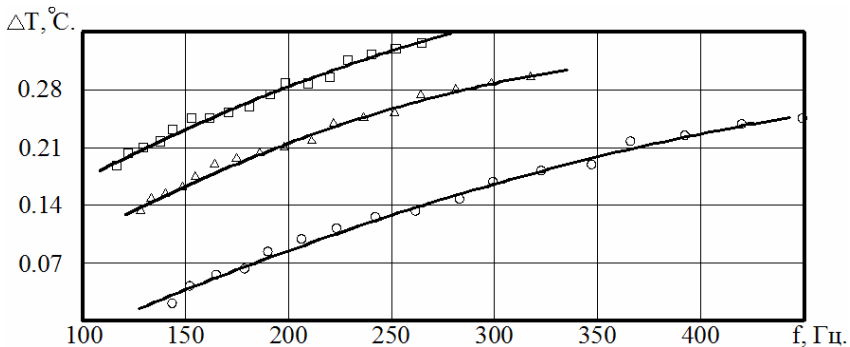


Рис. 9. Залежність дисипативного нагрівання від частоти пульсацій:  $\circ$  –  $L = 144$  мм;  $\Delta$  –  $L = 239$  мм;  $\square$  –  $L = 718$  мм

**Висновки.** В результаті досліджень встановлено, що домінуючий вплив на підвищення ефективності нагрівання мають значення амплітуд пульсацій тиску. Визначено конструктивні параметри резонаторів для досягнення конкретних значень частоти та амплітуди пульсацій тиску. Оцінено ефективність дисипативного нагрівання рідини при різних гідравлічних параметрах насосу. Отримані

результати є основою для створення енергоефективних конструкцій теплових генераторів та підбору допоміжного обладнання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Антонов А.Н., Купцов В.М., Комаров В.В. Пульсации давления при струйных и отрывных течениях. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
2. Купцов В.М., Филиппов К.Н. Пульсации давления и нагрев газа при втекании сверхзвуковой струи в коническую полость // Изв. АН СССР / Сер. Механика жидкости и газа. – 1981. – № 3. – С. 167–170.
3. Грязнов В.П., Купцов В.М. Газодинамический нагрев в полостях под воздействием пульсаций давления на входе // Изв. АН СССР / Механика жидкости и газа. – 1983. – № 6. – С. 177–179.
4. Галушлин Р.Г., Ревва И.П. Акустотермические эффекты при колебаниях большой амплитуды в закрытой трубе // Инженерно-физический журнал. – 1984. – Т. 47. – № 1. – С. 34–41.
5. Піроженко І.А. Гідродинаміка та теплові ефекти в циліндричному роторно-пульсаційному апараті: Дис...-канд.техн.наук: 05.14.06. – К., 2005. – 166 с.
6. Измерения в промышленности: Справочник в 3-х книгах / Под ред. П.Профоса. – М.: Металлургия, 1990. – 492 с.

БЕСПАЛЬКО Сергій Анатолійович – асистент кафедри енерготехнологій Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- моделювання процесів нагрівання рідини;
- розробка конструкцій систем автономного опалення.

КАЛЕЙНІКОВ Геннадій Євгенійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри енерготехнологій Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- енергоефективні технології.

ПОЛЯКОВ Святослав Петрович – доктор технічних наук, завідувач кафедри енерготехнологій Черкаського державного



технологічного університету.

Наукові інтереси:

– основи будови матерії;

– соціальні проблеми.

Тел.: 42-30-19.

E-mail: atrisov@yandex.ru.

Подано 14.08.2007