

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ПОТОКІВ У РОБОЧИХ ОРГАНАХ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОГО АПАРАТА

Наведено метод визначення й форму залежностей, що характеризують затрати енергії на прокачування рідини крізь робочі органи роторно-пульсаційного апарата. Запропонований підхід до визначення енергетичних характеристик розширює можливості вдосконалення конструкцій таких апаратів і технологічних режимів оброблення рідин.

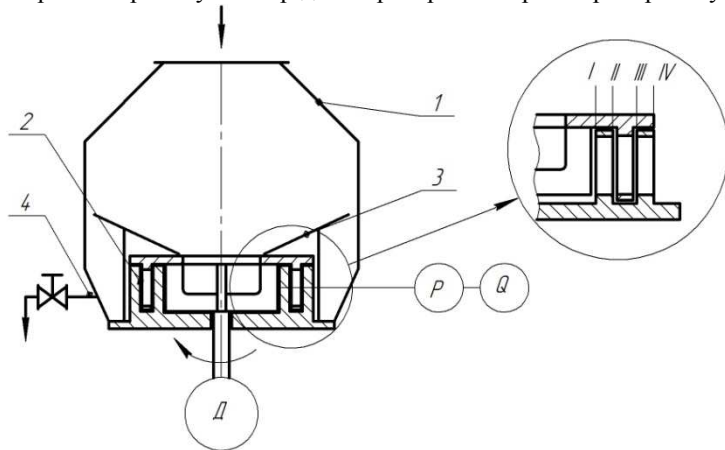
**Ключові слова:** роторно-пульсаційний апарат, енергетичні параметри потоків, затрати енергії на прокачування рідини.

© Семінський О. О., Василенко Р. М., 2015.

**Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень.** Роторно-пульсаційні апарати (РПА) відрізняються простотою й надійністю конструкції, дозволяючи обробляти рідини завдяки сукупному впливові явищ гідродинамічної природи [1, 2]. Проте багатофакторність впливу і складність руху потоків у робочих органах РПА є причиною нестачі методик їхнього розрахунку й рекомендацій щодо вибору параметрів конструкції, що зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямі.

У визначенні затрат енергії у РПА суттєве значення має гідродинамічна складова. Значна кількість праць присвячено її визначенню у формі напірно-витратної характеристики [3, 4]. Недоліком такого підходу є те, що такі характеристики подають у розмірному вигляді, що ускладнює масштабування під час проектування промислових зразків. Інший підхід полягає у встановленні безрозмірної залежності числа потужності від геометрії, розмірів та особливостей компоновки робочих органів РПА з урахуванням швидкості обертання ротора і параметрів потоку рідини [5]. Суттєвою перевагою такого підходу є можливість масштабування. Проте використання в цих залежностях чисел Ейлера і Рейнольдса, модифікованих з урахуванням колової швидкості ротора як параметра, що характеризує інтенсивність сил інерції, може бути виправданим лише для апаратів з одним пульсаційним ступенем, оскільки в інших випадках колова швидкість не відображає реального стану потоку в всьому пульсаційному вузлі.

**Метою статті** є розроблення методу визначення й форми залежностей, що характеризують затрати енергії на прокачування рідини крізь робочі органи роторно-пульсаційного апарата.



1 – корпус апарата; 2 – пульсаційний вузол; 3 – діафрагма;  
 4 – зливний патрубок

**Рис. 1 – Схема лабораторної установки**

робочих органів РПА, залежність між якими подано у формі  $Eu_Q = f(Re_Q)$ , де числа  $Eu$  і  $Re$  модифіковано заміною середньої швидкості потоку на витрату в такий спосіб, що:

$$Re_Q = \frac{cQ_V}{md} = \frac{Q_M}{md}, \quad Eu_Q = \frac{gHd^4}{Q_V^2} = \frac{c^2gHd^4}{Q_M^2},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;  $H$  – динамічний напір;  $Q_V$  і  $Q_M$  – об'ємна й масова витрата рідини;  $d$  – визначальний розмір;  $\rho$  – густина рідини;  $\mu$  – в'язкість рідини.

Таке модифікування чисел  $Eu$  і  $Re$  є значно зручнішим, оскільки заданою величиною, або ж такою, що може бути визначена прямим вимірюванням, є саме витрата, а не швидкість потоку. При цьому, враховуючи, що бічну перфорацію робочих органів пульсаційного вузла виконують у формі прямокутних отворів [5], як визначальний розмір  $d$  було взято його ширину, а не еквівалентний діаметр перерізу, яким

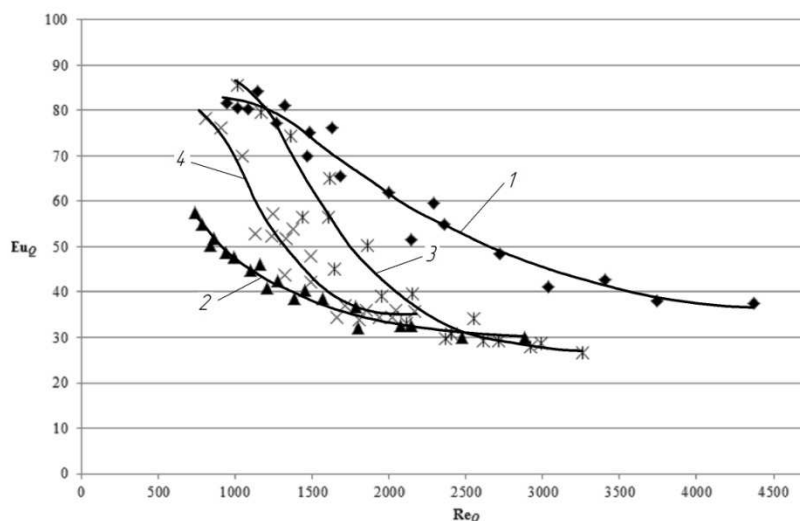
### Викладення основного матеріалу.

Дослідження вели на лабораторній установці (рис. 1), прокачуючи воду крізь робочі органи РПА з внутрішнім циркуляційним контуром.

Робочий вузол РПА складався з напірного пристрою у формі крилатки й пульсаційного вузла, утвореного співвісними апарату циліндрами з бічною перфорацією у формі розміщених на одному рівні фрезерованих отворів однакової конфігурації й розмірів. Напір та об'ємну витрату рідини вимірювали в характерних перерізах на вході й виході статорів робочого вузла апарата. Навантаження здійснювали, змінюючи рівень заповнення апарата.

За результатами дослідження визначено гідродинамічні характеристики

рухається потік, як зазвичай. При цьому варто також враховувати співвідношення ширини до висоти отвора.



1-4 – криві, що відповідають місцю визначення параметрів потоку рідини I-IV на рис. 1

Рис. 2 – Залежності  $Eu_Q = f(Re_Q)$

Криві, що відповідають рівням вимірювання в області другого статора (3, 4) мають крутіший схід, ніж в області першого (1, 2), що зумовлено змінням опору рухові й перерозподіленням потоку рідини під час її проходження крізь робочі органи з обертанням ротора.

Вигляд кривих у досліджуваному діапазоні значень  $Re_Q$  змінюється від похилого до вигнутого і далі наближається до паралельного вісі абсцис. Такий характер відповідає зміні режимів руху рідини – переходу до розвиненої турбулентності й наближенню до автомодельного відносно  $Re_Q$  режиму.

Запропоноване подання надає можливість перейти до напірно-витратної характеристики, для чого за витратою рідини  $Q_V$  і конфігурацією перфорації визначають  $Re_Q$ , за залежністю  $Eu_Q = f(Re_Q)$  встановлюють  $Eu_Q$ , після чого за  $Eu_Q$  визначають динамічний напір  $H$ . Величини напору й витрати можуть бути використані для визначення кількості енергії, що витрачається на прокачування рідини крізь робочі органи РПА.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Запропонований підхід до визначення енергетичних параметрів потоків у робочих органах роторно-пульсаційних апаратів розширює можливості вдосконалення їхніх конструкцій і технологічних режимів оброблення рідин, дозволяючи краще масштабувати апарати та співставляти їхні характеристики. Розвиток цього підходу вимагає встановлення впливу особливостей конструкції й роботи РПА на його режимні параметри та розроблення на цій основі методики визначення гідродинамічної складової затрат енергії.

#### Список використаної літератури

1. Басок Б. И. Гидродинамика, теплообмен и эффекты дробления во вращательно-пульсирующих потоках / Б. И. Басок, Б. В. Давыденко, А. А. Авраменко, И. А. Пирожено. – К. : Экспрес, 2012. – 296 с.
  2. Долинский А. А. Метод дискретно-импульсного ввода энергии и его реализация / А. А. Долинский, А. Н. Ободович, Ю. А. Борхаленко. – Х. : Апостроф, 2012. – 185 с.
  3. Фомин В. М. Теоретическое и экспериментальное исследование характеристик роторно-пульсационного аппарата / В. М. Фомин, А. В. Федоров, Т. А. Хмель, М. С. Васишин [та ін.] // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81. – № 5. – С. 817–825.
  4. Анализ рабочих характеристик роторно-пульсационного аппарата с крыльчаткой / А. В. Фёдоров, Т. А. Хмель, М. С. Васишин и др. // Инженерно-физический журнал. – 2009. – 82. – № 5. – С. 823-829.
- Балабудкин М. А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М. А. Балабудкин. – М. : Медицина, 1983. – 160 с.

На рис. 2 наведено приклад залежностей  $Eu_Q = f(Re_Q)$  для вибраних характерних перерізів, об'ємних витрат, і співвідношення ширини отвора до його висоти  $a : h = 1 : 9$ . Оскільки залежності мають вигляд кривих складної форми незалежно від кількості пульсаційних ступеней у робочому вузлі РПА, доцільним є їхнє графічне подання.

Криві, що відповідають рівням вимірювання перед і поза тим самим статором (1, 2 і 3, 4) мають схожу конфігурацію, оскільки опір статора суттєво впливає на режим руху рідини. Різниця в кривині може свідчити про вплив товщини стінки статора, що проявляється в співвідношенні впливу на потік ефектів входу/виходу і руху крізь статор.