

УДК 62-426.2

**ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ ПОРИСТИХ СІТЧАСТИХ  
МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ АКВАФІЛЬТРУВАННІ В  
ПОБУТОВИХ ПИЛОСОСАХ**

**Зайцев І. А., Петко І. В.**

*Київський національний університет технологій та дизайну*

**Мета.** Аналіз фактичних фільтрувальних характеристик пористих сітчастих матеріалів.

**Методика.** Дослідження коефіцієнтів гідравлічного опору ПСМ при проходженні водяної суміші.

**Результати досліджень.** Визначено раціональні характеристики пористого сітчастого матеріалу для використання в побутовому пирососі.

**Наукова новизна.** В роботі проаналізовані варіанти виконання наборів пористих сітчастих матеріалів що дають можливість покращити фільтрувальні характеристики в пирососах з аквафільтром.

**Практична значимість** полягає в розробці рекомендацій до використання ПСМ для покращення фільтрувальних характеристик в побутових пирососах з аквафільтром

**Ключові слова:** пиросос, аквафільтр, фільтрація, пористий сітчастий матеріал

Одними з найбільш поширених виробів побутової техніки є побутові пирососи з аквафільтром, які мають ряд переваг в порівнянні з іншими типами пирососів [1]. Однак недоліком при використанні такого виду пирососів є значне періодичне забруднення повітряних фільтрів внаслідок недостатньо ефективних механічних фільтрувальних засобів для очищення суміші. Це шкідливо впливає на здоров'я людини та може призвести до захворювань.

**Постановка завдання**

На даний час відомі різні пористі матеріали: порошкові (ППМ), волокнисті (ПВМ), сітчасті (ПСМ), комбіновані проникні. Кожен пористий матеріал має тільки йому притаманні властивості, в тому числі в'язкісний  $\alpha$  та інерційний  $\beta$  коефіцієнти опору. Для пористих матеріалів характерні дуже високі значення об'ємної поверхні теплообміну  $S_v = (4 - 20) \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2\text{/м}^3\text{)}$  і великий гідравлічний опір.

Для використання в фільтрувальних системах пористий матеріал повинен мати наступні властивості [2, 3]:

- мінімальний гідравлічний опір в напрямку руху потоку суміші;
- високу питому і ударну міцність, що необхідна для виготовлення тонкостінних (3 ... 5 мм) протяжних симетричних оболонок;

- рівномірну мікроструктуру і стабільну проникність.

### *Результати досліджень*

Зважаючи на складність точного визначення розміру пор в пакетах сіток і в пористих сітчастих матеріалах, при дослідженні гідравлічного опору пакетів сіток і ПСМ визначалися в'язкісний  $\alpha$  та інерційний  $\beta$  коефіцієнти пористого середовища. Використовуючи ці коефіцієнти, що входять в модифіковане рівняння Дарсі, можна з великою точністю визначати втрати тиску в ПМ:

$$\frac{(P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}})}{l} = \alpha \mu v + \beta \rho v^2$$

де  $P_{\text{вх}}$  і  $P_{\text{вих}}$  – відповідно тиск на вході в ПМ і виході з ПМ;  $l$  – шлях фільтрації суміші через ПМ (товщина ПМ);  $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості теплоносія;  $\rho$  – щільність теплоносія;  $v$  – швидкість фільтрації суміші, приведена до повного перерізу ємності без урахування заповнення площі прохідного перерізу ПМ.

Пористі сітчасті матеріали (ПСМ) з однієї і тієї ж пористістю можна отримати з сіток з різними типом переплетення. Номенклатура сіток значна, тому спочатку вибірково досліджуються сітки з різним типом переплетення [4].

Для пористих матеріалів пакети сіток не є конструктивним матеріалом, оскільки сітки не пов'язані між собою. Однак вивчення гідравлічного опору пакетів сіток дозволяє дізнатися ті мінімальні коефіцієнти опору, які будуть у ПСМ з пористістю, близькою до пористості пакету недоформованих тканих сіток.

При русі рідини крізь ПСМ може змінитися напрямок її фільтрації щодо площини сіток. Тому експериментальні дані з гідравлічного опору отримані при одновимірному плину рідини в пакетах тканих полотняних фільтрових сіток і саржевих фільтрових сіток при міжсітковій та ортогональній площині сіток фільтрації пиловодяних сумішей (табл. 1).

Встановлено анізотропію гідравлічного опору пакетів сіток. Інерційний коефіцієнт опору при міжсітковій фільтрації рідини має менше значення, ніж при ортогональній площині сіток. Зростання коефіцієнтів опору  $\alpha$  та  $\beta$  спостерігається не тільки при зниженні пористості сітки, а й при збільшенні числа основ і утків тканої фільтрової сітки (при зменшенні діаметра дроту).

Зменшення опору пов'язано і зі способом укладання сіток в пакет. У фільтрових тканих сіток при міжсітковій фільтрації теплоносія і при куті  $\varphi$  між основами сусідніх

сіток, відмінному від  $0^\circ$ , діаметр порових каналів збільшується, а коефіцієнти опору  $\alpha$  та  $\beta$  зменшуються.

Встановлено, що у сіток з мілкопористої саржевої сітки коефіцієнти опору пакетів на порядок більше, ніж у пакетів крупнопористих полотняних сіток. При міжсітковій фільтрації рідини число сіток в пакеті не впливає на гідравлічний опір. При ортогональній площині сіток фільтрації рідини спостерігається зростання коефіцієнтів опору зі збільшенням числа сіток. У великих сіток це зростання незначне (менше 5%). Слід зазначити, що пакети сіток можуть змінювати свої розміри при змінних навантаженнях, а це призведе до зміни коефіцієнтів опору.

Таблиця 1.

**Значення коефіцієнтів опору полотняних сіток**

Пористість сітки, П	Число сіток в пакеті	Кут між сітками, $\varphi$	Коефіцієнти опору пакетів сіток	
			$\alpha, \text{м}^{-2} \cdot 10^{-8}$	$\beta, \text{м}^{-1} \cdot 10^{-3}$
0,71	7	90	15,1	0,823
0,65	20	90	7,615	2,159
0,41	16	90	162,9	22,01
0,71	9	0	36,9	8,553
0,65	4	45	1,117	3,850
0,41	2	45	70,2	25,83
0,31	1	45	113,6	80,89
0,32	1	довільний	877,45	168,5

З табл. 1 випливає, що мінімальний гідравлічний опір спостерігається у пакетів з сіток полотняного переплетення при міжсітковій фільтрації рідини і при куті  $\varphi$ , відмінному від  $0^\circ$ . Отже, найменший гідравлічний опір пористих сітчастих матеріалів, з пористістю, близькою до пористості вихідної сітки, передбачається при міжсітковій фільтрації рідини і при куті  $\varphi > 0^\circ$ .

При міжсітковій фільтрації навіть при малих швидкостях фільтрації перехідний режим руху рідини, що переходить в турбулентний зі збільшенням швидкості фільтрації.

Зі зменшенням пористості зразків і діаметра порових каналів турбулентний режим руху настає при менших швидкостях фільтрації. При турбулентному режимі руху спостерігається квадратична залежність градієнта тиску в ПСМ від швидкості фільтрації. При фільтрації дистильованої води через ПСМ в діапазоні швидкостей фільтрації

$v = 0,01 \dots 0,07$  м/с спостерігається ламінарний режим руху, що перетворюється в перехідний і турбулентний.

Коефіцієнти опору пористих сітчастих матеріалів, тканого полотняного виду та саржеві фільтрувальні сітки, відрізняються від інших ПМ стабільністю гідравлічного опору, тому що вони виконані зі стандартних полімерних волокон з відомими і стабільними характеристиками.

Аналіз показав, що використання ПСМ з міжсітковою фільтрацією рідини дозволяє покращити фільтрувальні характеристики, при інших рівних умовах.

ПСМ з сітки з квадратною коміркою простого переплетення практично ізотропні через спосіб переплетення дротів і хаотичне укладання сітки в пакетах. Незважаючи на високу пористість, ПСМ з сітки з квадратною коміркою і діаметром дроту 0,1 мм має більш високі коефіцієнти опору, ніж ПСМ з фільтрової ткані сітки. Це пояснюється високорозвиненою внутрішньою структурою ПСМ з сітки з квадратною коміркою. У ПСМ з сітки з квадратною чарункою інерційний коефіцієнт при міжсітковій фільтрації більше, ніж при ортогональній. Гідравлічний опір ПСМ з сітки з квадратною коміркою нестабільний внаслідок зсуву окремих дротів в сітці і довільності її укладання. Отже, для фільтрувальних пристроїв ПСМ з цієї сітки використовувати не рекомендується.

Як і у інших ПМ, у ПСМ при міжсітковій фільтрації рідини опір зменшується зі збільшенням пористості зразків. Так, збільшення пористості з 0,29 до 0,48 для ПСМ призводить до зменшення коефіцієнтів опору  $\alpha$  і  $\beta$  на порядок. Для збільшення швидкості фільтрації рідини при заданому перепаді тиску необхідно використовувати ПСМ з максимально допустимою великою пористістю, яка обмежена пористістю вихідної сітки і вимогами міцності, що пред'являються до ПСМ. Для отримання ПСМ з великою пористістю і малим гідравлічним опором необхідно використовувати великопористі сітки полотняного типу з пористістю 0,65-0,71, що дозволяє виготовити ПСМ з пористістю 0,4-0,5.

Перевагами застосування крупнопористої фільтрової сітки полотняного переплетіння для виготовлення ПСМ є:

- менший гідравлічний опір при однаковій пористості;
- можливість отримання ПСМ з високою пористістю.

ПСМ після хімічної обробки мають підвищений гідравлічний опір. Значне збільшення коефіцієнтів опору після механічної обробки спостерігається у зразків з малою пористістю ( $\Pi = 0,214$ ). Зі збільшенням пористості ПСМ гідравлічний опір

зменшується. Для ПСМ при міжсітковій фільтрації після хімічної обробки отримані наступні залежності коефіцієнтів опору від пористості:

$$\alpha = 6,651 \cdot 10^7 \cdot \Pi^{-5,479}$$

$$\beta = 173,68 \cdot \Pi^{-5,993}$$

де пористість  $\Pi = 0,214-0,386$ .

Необхідно проводити відновлення проникності обробленої пористої поверхні. Якщо це неможливо, то рекомендується використовувати тільки ПСМ з пористістю, близькою до пористості вихідної сітки.

Коефіцієнти опору ПСМ з відновленою проникністю при міжсітковій фільтрації рідини можна узагальнити поліномом четвертого ступеня:

$$\alpha = (-5,148 \cdot \Pi^4 + 7,917 \cdot \Pi^3 - 4,409 \cdot \Pi^2 + 1,034 \cdot \Pi - 0,0824) \cdot 10^{13}$$

$$\beta = (3,345 \cdot \Pi^4 - 5,232 \cdot \Pi^3 + 3,022 \cdot \Pi^2 - 0,7718 \cdot \Pi - 0,07531) \cdot 10^8$$

де  $\Pi = 0,291-0,476$ .

Для ПСМ з сітки полотняного плетіння при міжсітковій фільтрації рідини отримані залежності:

$$\alpha = 1,439 \cdot 10^8 \cdot \Pi^{-4,403}$$

$$\beta = (-8,9857 \cdot \Pi^4 + 12,06 \cdot \Pi^3 - 5,812 \cdot \Pi^2 + 1,159 \cdot \Pi - 0,07546) \cdot 10^8.$$

Результати дослідження гідравлічного опору для ПСМ з сітки полотняного плетіння при ортогональній фільтрації рідини можна узагальнити наступними залежностями:

$$\alpha = 5,888 \cdot 10^8 \cdot \Pi^{-3,779}$$

$$\beta = 516,75 \cdot \Pi^{-5,507}$$

де пористість  $\Pi = 0,214-0,412$ .

Значення коефіцієнтів опору  $\alpha$  і  $\beta$  при міжсітковій фільтрації рідини у всіх випробуваних зразків більш ніж в десять разів менше, ніж у пористих порошкових матеріалів тієї ж пористості. Це можна пояснити низькою шорсткістю (1 мкм) полімерного дроту, меншою звивистістю порових каналів і регулярністю структури.

**Висновки**

ПСМ полотняного переплетіння в порівнянні з ПСМ, виконаними з інших типів сіток, мають мінімальні коефіцієнти опору при міжсітковій фільтрації рідини. Рациональне поєднання високої міцності, хорошої технологічності, малого гідравлічного опору і стабільності коефіцієнтів опору дозволяють рекомендувати цей матеріал для використання його в якості пористого наповнювача в фільтрувальну систему аквафільтрувального пирососу.

**Список використаних джерел**

1. Петко І. В., Бурмістенков О. П., Біла Т. Я., Скиба М. Є. Електропобутова техніка – Хмельницький: ХНУ – 2017. – 213 с.
2. Синельников Ю. І, Третьяков А. Ф. Пористые сетчатые материалы – М.: Металлургия – 1983. – 64 с.
3. Белов С. В., Витязь П. А., Шелег В. К. и др. Пористые проницаемые материалы – М.: Металлургия, 1987. – 335 с.: ил.
4. Ходоренко В. Н., Ясенчук Ю. Ф. Биосовместимые пористые проницаемые материалы. – Биосовместимые материалы и имплантаты с памятью формы/под ред. ВЭ Гюнтера. Northampton: STT – 2001. – С. 9-24.

**References**

1. Petko, I., Burmistenkov, O., Bila, T. & Skyba, M. (2017). *Elektropobutova tekhnika* [Household appliances] – Khmel'nyts'ky: KhNU. [in Ukrainian].
2. Cinel'nikov, J & Tret'jakov, A. (1983). *Poristyie setchatye materialy* [Porous mesh materials] – Moscow: Metallurgija [in Russian].
3. Belov, S., Vitjaz, P. & Sheleg, V. (1987). *Poristyie pronicaemye materialy* [Porous permeable materials] – Moscow: Metallurgija [in Russian].
4. Hodorenko, V. & Jasenchuk, J. (2001). *Biosovmestimye poristyie pronicaemye materialy*. [Biocompatible porous permeable materials] Northampton: STT. P.p. 9-24. [in Russian].

**Zaitsev Ihor**[ihor\\_zaitsev@ukr.net](mailto:ihor_zaitsev@ukr.net)*Kyiv National University of  
Technologies and Design***Petko Igor**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7695-9846>[petkoknutd@gmail.com](mailto:petkoknutd@gmail.com)*Kyiv National University of  
Technologies and Design*

**Исследование гидравлического сопротивления пористых сетчатых материалов, используемых при аквафильтрации в бытовых пылесосах**

**Зайцев И. А., Петко И. В.***Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Анализ фактических фильтровальных характеристик пористых сетчатых материалов.

**Методика.** Исследование коэффициентов гидравлического сопротивления ПСМ при прохождении водяной смеси.

**Результаты.** Определены рациональные характеристики пористого сетчатого материала для использования в бытовом пылесосе.

**Научная новизна.** В работе проанализированы варианты выполнения наборов пористых сетчатых материалов, позволяющие улучшить фильтровальные характеристики в пылесосах с аквафильтром.

**Практическая значимость** заключается в разработке рекомендаций к использованию ПСМ для улучшения фильтровальных характеристик в бытовых пылесосах с аквафильтром.

**Ключевые слова:** пылесос, аквафильтр, фильтрация, пористый сетчатый материал

**Research of hydraulic supply of porous mesh materials used in aquaplidation in domestic vacuum cleaners**

**Zaitsev I., Petko I.**

*Kiev National University of Technologies & Design*

**Purpose.** Analysis of actual filtration characteristics of porous mesh materials.

**Methodology.** Investigation of the coefficients of hydraulic resistance of PMM when passing the water mixture.

**Findings.** The rational characteristics of porous mesh material for use in a household vacuum cleaner are determined.

**Originality.** The paper analyzes the variants of the implementation of sets of porous mesh materials that give an opportunity to improve the filtering characteristics in vacuum cleaners with an aquafilter.

**Practical value** is to develop recommendations for the use of PMM to improve the filtration characteristics in household vacuum cleaners with aquafilter.

**Keywords:** vacuum cleaner, aquafilter, filtration, porous mesh material