

УДК 621.979:621.768.4.06

Севостьянов І. В. к.т.н., Вінницький національний технічний університет
Іскович-Лотоцький Р. Д. д.т.н., Вінницький національний технічний університет

Любин В.С. Вінницький державний аграрний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПОТОКОВОГО ВІБРОУДАРНОГО ФІЛЬТРУВАННЯ ВОЛОГИХ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статье приводятся классификация и анализ известных способов очистки влажных дисперсных материалов, а также оборудования для их реализации. Теоретически и экспериментально установлена высокая эффективность предлагаемого авторами способа потокового виброударного фильтрования на установках с гидромпульсным приводом, обеспечивающего стабильно высокую производительность процесса очистки, при сравнительно небольших затратах энергии и материалов. Экспериментально установлены зависимости производительности поточного виброударного фильтрования от основных параметров регулирования процесса – частоты и амплитуды колебаний исполнительного элемента установки.

It is given the classification and analysis of the known methods of purification of damp dispersion materials, as well as equipment for their realization in this article. It is also contains the theoretical and experimental proofs of the high efficiency of proposed by authors method of stream vibration-blowing filtration on equipment with the hydraulic pulse drive, that providing a stable high efficiency of the process of purification, under relatively small expenses to energy and material. On the results conducting experiments it is defined the dependencies of capacity of stream vibration-blowing filtration from the main parameter of the regulation of the process - a frequencies and amplitudes of the fluctuations of the executive element of the equipment.

Останнім часом задачі фільтрування вологих дисперсних матеріалів є досить актуальними для самих різних галузей промисловості, транспорту та сільського господарства. Зокрема, для вітчизняних підприємств харчової промисловості значну проблему представляє утилізація різних відходів - кавового шламу, пивної дробини, спиртової дробини, бурякового жому, - що відносяться до вказаних вище матеріалів – і в даний момент, у більшості випадків, виливаються на спеціальні земельні ділянки або у найближчі водоймища, забруднюючи їх; крім цього, витрачаються кошти на завантаження, транспортування і розвантаження відходів. У випадку ж їх розділення на тверду фракцію - концентрат, що може служити добавкою до сільськогосподарських кормів або спалюватись з одержанням тепла, та рідинну фракцію - фільтрат, яка після достатньо якісного очищення повертається у природу або повторно використовується на виробництві – проблема утилізації розв'язується максимально ефективно.

Проведений авторами аналіз відомих способів фільтрування вологих дисперсних матеріалів та обладнання для їх здійснення показав, що дані способи можна розділити на п'ять груп: механічні, електричні, хімічні, біологічні та комбіновані. При цьому електричні способи [1] відрізняються високою енергоємністю та низькою продуктивністю і тому не можуть бути ефективно застосовані для очищення вологих дисперсних матеріалів. Хімічні способи (наприклад, електрохімічний, фізико-хімічний

[2]) та біологічні способи (анаеробні, аеробні, природні та штучні [3]) доцільно застосовувати тільки у комбінації зі способами інших груп. Слід відмітити складність, багатостадійність і значну енергоємність процесів хімічного та біологічного фільтрування; матеріалоємність та високу вартість, використовуваного для їх реалізації обладнання. Найбільш ефективним механічним способом є спосіб тангенціального потокового фільтрування через трубчасті керамічні мембрани [4], що є порівняно простим та дешевим в реалізації, крім цього, забезпечує стабільно високу в часі продуктивність процесу очищення. Однак для збереження останньої, потрібно підтримувати достатньо високий тиск у середовищі фільтрату, що циркулює по каналах мембрани і одночасно – велику швидкість його руху. Це, в свою чергу, призводить до значних енерговитрат, особливо в умовах потокового виробництва [5].

Автори пропонують для зменшення енергоємності процесів потокового фільтрування створювати у середовищі оброблюваного матеріалу під час їх реалізації ударні хвилі напружень та деформацій, що забезпечить необхідні швидкість потоку матеріалу та тиск у його середовищі, а отже й високу продуктивність процесу [5].

З метою експериментального обґрунтування високої ефективності способу віброударного потокового фільтрування вологих дисперсних матеріалів у порівнянні із способом безударного потокового фільтрування, авторами була створена дослідна установка з гідроімпульсним приводом (ГІП) [6], показана на рис. 1. Установка створена на базі спеціального вібропреса моделі ІМЗГК-5 [7] зі зворотно-гвинтовим рухом вібростолу 10 і окрім нього включає відцентровий насос 4, зворотний клапан 5, крани 6, 1, трубчасту керамічну мембрану 3 у корпусі 2 з відводами 7, баки 11, 8 з фільтратом та відфільтрованою рідиною, а також гідроциліндр 9. Фільтрат у безперервному режимі подається по замкненій системі з бака 11, через клапан 5, кран 6, мембрану 3 та кран 1 назад у бак 11; відфільтрована рідина стікає через відводи 7 у бак 8. Як фільтрувальний елемент застосовувалась мембрана фірми "Таті" довжиною $l_m = 300$ мм і діаметром $D_m = 25$ мм, з $n_k = 39$ каналами гідравлічного діаметру $d_m = 2,5$ мм, виготовлена із суміші частинок оксидів титану та цирконію, з розмірами пор від 0,14 до 1,4 мкм [8]. При регулюванні площі прохідного перерізу кранів 1, 6 у мембрані установлювався оптимальний для безударного мікрофільтрування тиск $p_\phi = 0,2$ МПа. Ударні хвилі напружень та деформацій у середовищі оброблюваного матеріалу, що протікав по каналах мембрани 3, створювалися за допомогою гідроциліндра 9, поршнева порожнина якого пов'язана із нагнітальною гідролінією, а шток закріплений на вібростолі 10, і разом з ним здійснював зворотно-гвинтові вертикальні рухи.

Програма експериментів, проведених за допомогою установки включала:

- отримання графічних залежностей максимального тиску $p_{вих}$ на виході з мембрани під час віброударного потокового фільтрування (даний параметр у найбільшій мірі визначає продуктивність процесу) від основних параметрів регулювання - частоти ν та амплітуди $l_{x,n}$ коливань вібростолу (при змінах ν та $l_{x,n}$ тиск $p_{вих}$ регулюється найбільш ефективно та легко);

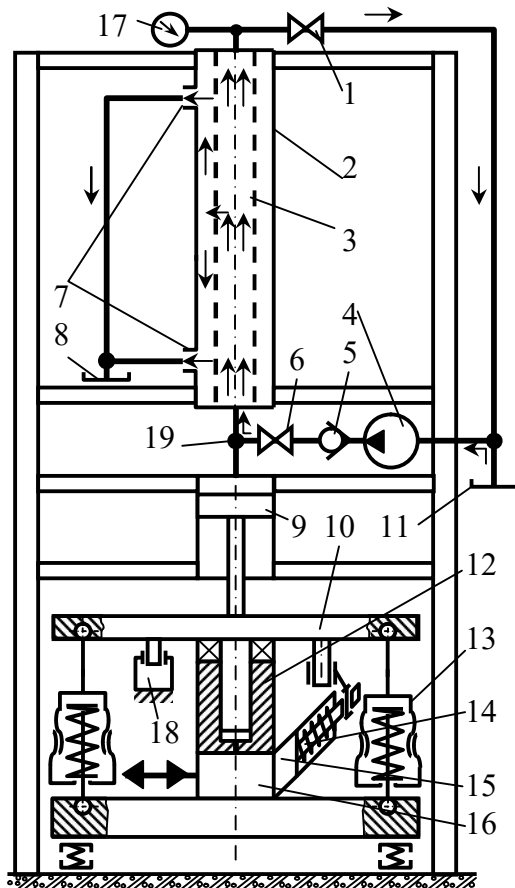


Рис. 1. Схема експериментальної установки для потокового віброударного фільтрування вологих дисперсних матеріалів

- установлення експериментальних залежностей продуктивності $\Pi_{\phi,y}$ віброударного потокового фільтрування від параметрів регулювання ν та $l_{x,n}$;

- експериментальне визначення зміни продуктивності віброударного $\Pi_{\phi,y}$ та безударного $\Pi_{\phi,\delta}$ потокового фільтрування в часі при оптимальних, установлених дослідним шляхом, робочих параметрах процесів;

- порівняння $\Pi_{\phi,y}$ та $\Pi_{\phi,\delta}$ і установлення ефективності кожного способу.

Для визначення тиску $p_{вих}$ використовувався пружинний манометр 17, класу точності - 1,5, з ціною поділки шкали 0,01 МПа і максимальним її значенням 10 МПа. Частоту ν та амплітуду $l_{x,n}$ визначали за допомогою датчика переміщень 18 мод. TURK Ni8-M18-LiU, АЦП мод. Е14-140 та комп'ютера Pentium III. Крім цього, застосовувалось стандартне програмне забезпечення для АЦП - програмний пакет LGraph2.

Продуктивність фільтрування Π_{ϕ} розраховували як відношення об'єму $W_{e,p}$ відфільтрованої рідини, що набралась у баці 8 установки (визначався за допомогою скляної мірної тари) за певний час t_{ϕ} (контролювався з використанням секундоміру) до цього часу

$$\ddot{I}_{\delta} = \frac{W_{\dot{a},\delta}}{t_{\delta}}$$

Для забезпечення достатньо високої достовірності експериментальних значень $p_{вих}$ кожен експеримент зі зміною ν або $l_{x,n}$, а також з визначення Π_{ϕ} - повторювався 10 разів. Далі розраховувалось середнє арифметичне для отриманих 10 значень досліджуваного параметра.

Оброблюваним матеріалом служив фільтрат спиртової барди вологістю 95 – 97%, попередньо відокремлений від концентрату способом стікання, за допомогою сіткових металевих фільтрів. Вихідна температура продукту складала 20 °С; в процесі проведення експериментів вона не піднімалась вище 25 °С.

Різні значення ν - від 30 до 150 Гц та $l_{x,n}$ – від 0,5 до 2,5 мм установлювались за допомогою регулятора витрат та регульованого дроселя ГП базової установки [7].

На рис. 2 наведені, отримані на 1-му етапі експериментів, графічні залежності $p_{вих}$

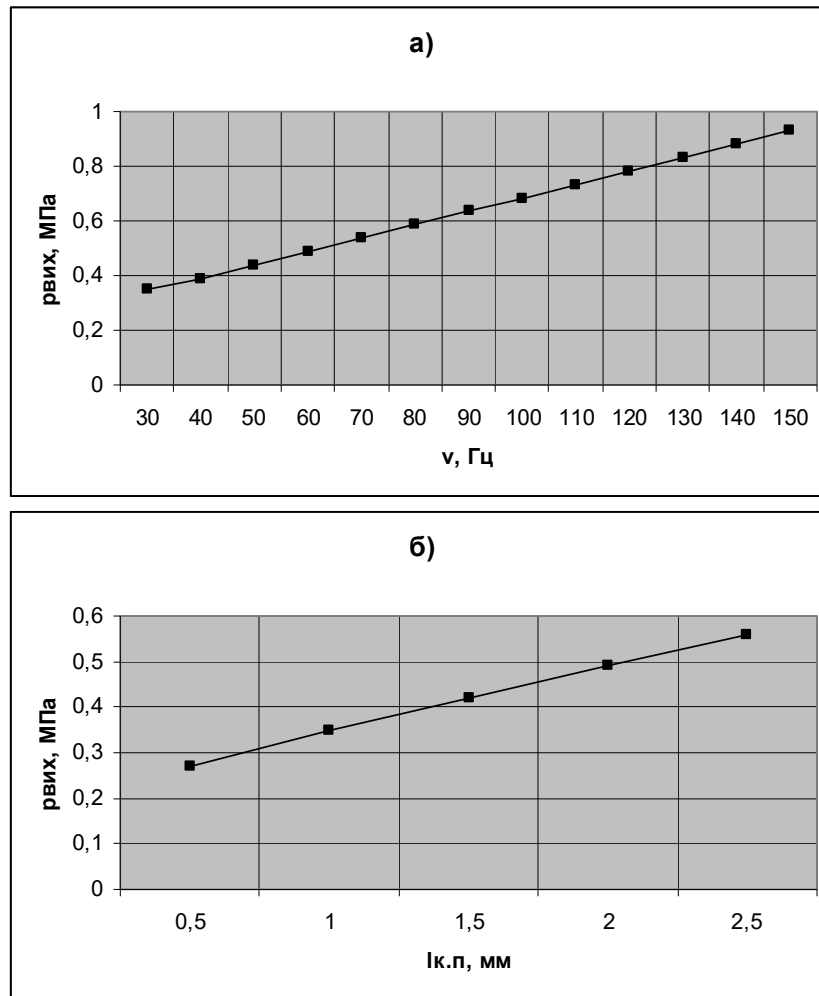


Рис. 2. Експериментальні залежності максимального тиску $p_{вих}$ на виході з мембрани при віброударному потоковому фільтруванні: а) – від частоти ν коливань вібростолу; б) – від амплітуди $l_{x,n}$ коливань вібростолу

$= f(\nu)$; $p_{вих} = f(l_{x,n})$, з яких очевидно, що при збільшенні в процесі віброударного потокового фільтрування частоти і інтенсивності створюваних у середовищі оброблюваного матеріалу ударних хвиль напружень та деформацій, максимальний тиск

$p_{вих}$ на виході з мембрани також зростає, що, як це буде показано нижче, позитивно позначається на продуктивності процесу.

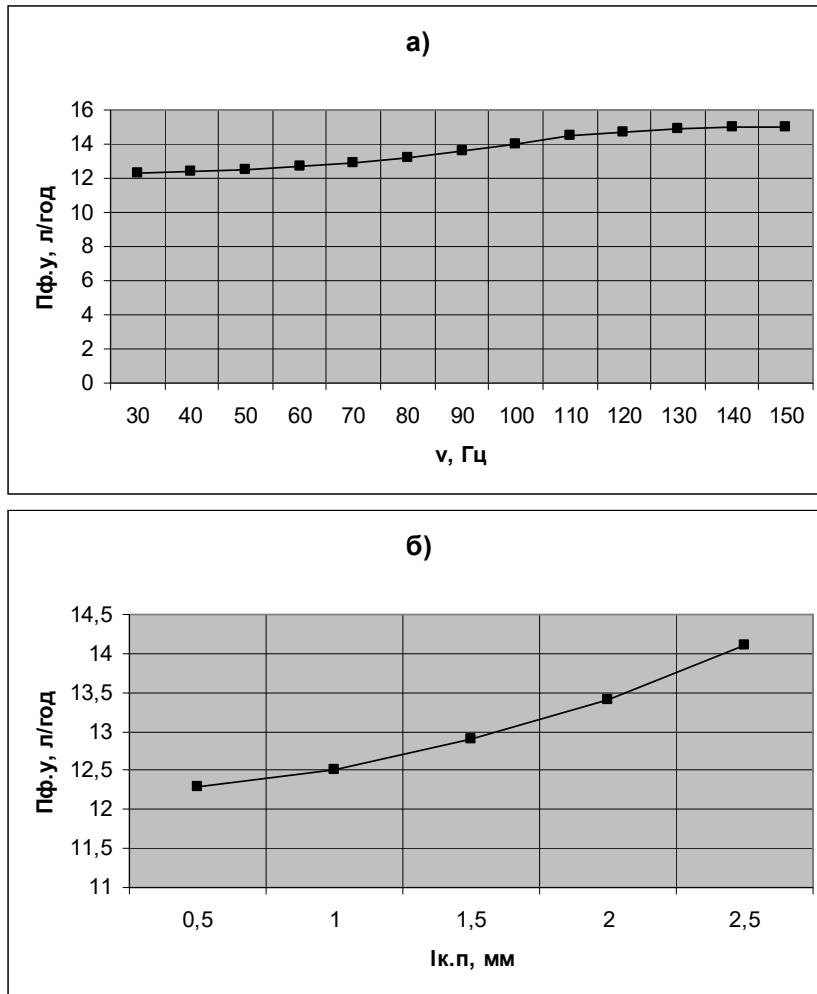


Рис. 3. Експериментальні залежності продуктивності $П_{ф.у}$ віброударного потокового фільтрування: а) – від частоти ν коливань вібростолу; б) – від амплітуди $l_{x,n}$ коливань вібростолу

На другому етапі експериментів з дослідження залежностей $П_{ф.у}$ від основних робочих параметрів процесу, при зміні частоти ν , амплітуда $l_{x,n}$ залишалась постійною і рівною 2 мм; при змінній $l_{x,n}$, ν підтримувалась на рівні 60 Гц. Аналіз одержаних при цьому графіків (рис. 3) показує, що збільшення ν до величини порядку 130 Гц забезпечує помітне зростання $П_{ф.у}$; при подальшому нарощуванні ν (понад 130 Гц), $П_{ф.у}$ практично не змінюється. Ще одним ефективним способом підвищення продуктивності віброударного потокового фільтрування є збільшення амплітуди $l_{x,n}$ коливань вібростолу.

На цьому ж етапі, при відключеному ГПІ експериментальної установки та оптимальному для безударного потокового мікрофільтрування тиску $p_{ф} = 0,2$ МПа [8], визначалась продуктивність $П_{ф.б}$, що не перевищувала 12 л/хв.

На третьому етапі експериментів досліджувалась зміна продуктивності процесів віброударного $П_{ф.у}$ та безударного $П_{ф.б}$ потокового фільтрування у часі t при реалізації оптимальних режимів цих процесів.

Оптимальним, визначеним дослідним шляхом, режимом віброударного фільтрування, при якому забезпечуються достатньо висока продуктивність $P_{ф.у}$ процесу, максимальне збереження її у часі, за відсутності руйнування мембрани, є режим з параметрами: $\nu = 130$ Гц; $l_{x.n} = 2$ мм. При більших частоті і амплітуді коливань вібростолу, максимальний тиск на виході з мембрани наближається до 1 МПа, який є для неї гранично допустимим за умовами збереження міцності і довговічності.

Оптимальним режимом безударного фільтрування, при якому забезпечується висока продуктивність процесу, є режим з тиском на виході з мембрани $p_{вих} = 0,2$ МПа (в ході реалізації процесу цей тиск залишається постійним). При більших значеннях $p_{вих}$, які можна установити за допомогою кранів 1, 6 (див. рис. 1), не зважаючи на певне підвищення продуктивності фільтрування у першу годину роботи установки, у подальшому починається більш інтенсивне забивання мембрани і $P_{ф.б}$ помітно падає.

На рис. 4 представлені одержані на даному етапі досліджень графічні експериментальні залежності.

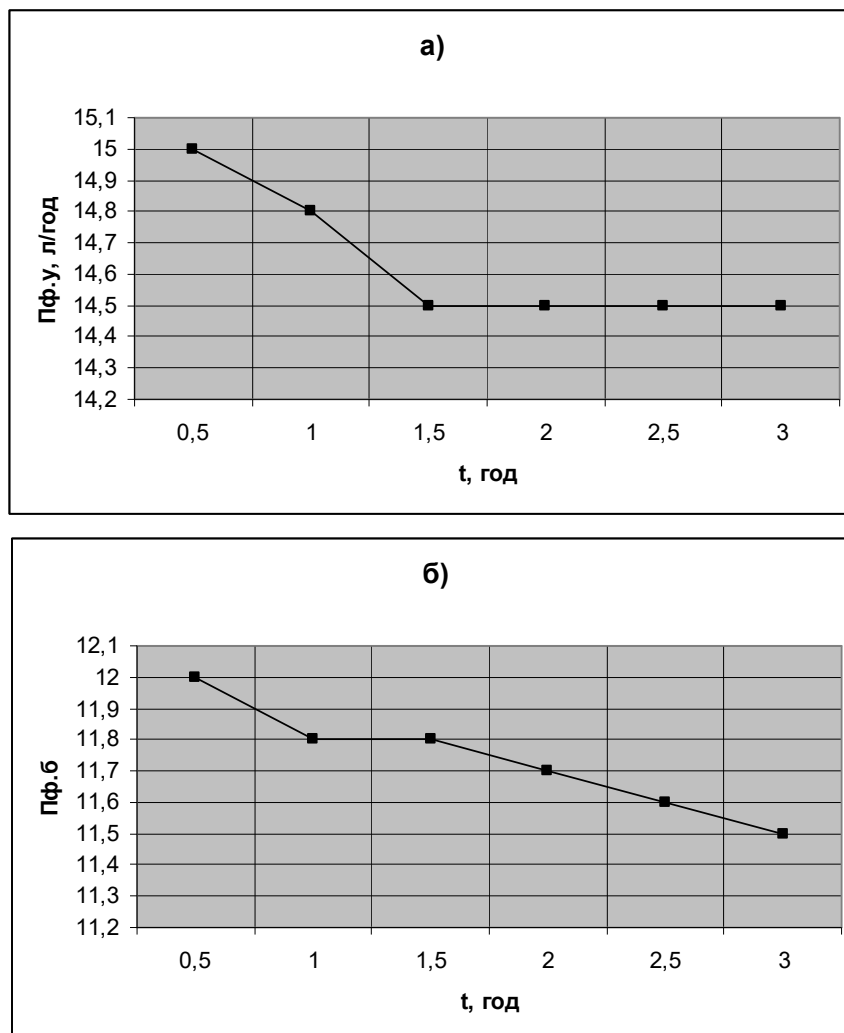


Рис. 4. Експериментальні графіки зміни продуктивності у часі: а) - при віброударному потоковому фільтруванні; б) – при безударному потоковому фільтруванні

Як видно з графіка на рис. 4, а, продуктивність віброударного фільтрування з часом зменшується досить незначно і тільки у продовж перших 1,5 годин від початку процесу, що пояснюється утворенням в цей період шару осаду з твердих частинок продукту на внутрішніх поверхнях мембрани. Однак у подальшому, завдяки створенню у середовищі оброблюваного матеріалу ударних хвиль напружень і деформацій, товщина шару осаду залишається стабільно малою, у зв'язку із чим $P_{\phi,y}$ вже не падає і зберігається достатньо високою.

Продуктивність безударного тангенціального потокового фільтрування в часі постійно, хоча й незначно зменшується (рис. 4, б), що обумовлене безперервним збільшенням товщини шару осаду в середині мембрани та забиванням її пор.

В цілому, згідно із результатами проведених експериментів, продуктивність віброударного фільтрування є помітно більшою продуктивності безударного фільтрування, що доводить вищу ефективність пропонованого способу.

Висновки

1. Відомі способи очищення вологих дисперсних матеріалів можна поділити на механічні, електричні, хімічні, біологічні та комбіновані.

2. Проведений аналіз даних способів показав, що електричні, хімічні, біологічні, та комбіновані способи мають високу енергоємність та низьку продуктивність, а обладнання для їх здійснення відрізняється значною матеріалоємністю, складністю та високою вартістю.

3. Найефективнішим серед відомих механічних способів очищення вологих дисперсних матеріалів є спосіб тангенціального потокового фільтрування через трубчасті керамічні мембрани. Однак його достатньо ефективна реалізація можлива за умови забезпечення значної швидкості переміщення оброблюваного матеріалу по каналах мембрани та високого тиску у його середовищі. Останнє в умовах потокового виробництва призводить до значних енерговитрат.

4. Для зменшення енерговитрат під час тангенціального потокового фільтрування і підвищення продуктивності процесу автори пропонують створювати у середовищі оброблюваного матеріалу ударні хвилі напружень та деформацій, що може бути здійснено на установках з ГПП.

5. Основними параметрами регулювання процесів потокового віброударного фільтрування є частота ν та амплітуда $l_{x,n}$ коливань виконавчого елемента установки з ГПП, при збільшенні яких тиск $p_{вих}$ на виході з мембрани та продуктивність $P_{\phi,y}$ процесу зростають.

6. При застосуванні оптимальних режимів реалізації способів потокового безударного та віброударного фільтрування, продуктивність останнього є вищою і більш стабільною в часі, що експериментально доводить нам високу ефективність пропонованого способу очищення вологих дисперсних матеріалів.

Список літератури

1. Дикис М. Я., Мальский А. Н. Технологическое оборудование консервных заводов. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 777 с.
2. Андрусенко П. И. Малоотходная и безотходная технология при обработке рыбы, 1988. – 112 с.
3. <http://vikings.wicca.ru/page.php?id=110> .
4. Валентас К. Дж., Ротштейн Э., Сингх Р. П. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов. – СПб.: Профессия, 2004. – 848 с.
5. Севостьянов І. В., Іскович-Лотоцький Р. Д. Теоретичні основи процесів фільтрування вологих дисперсних матеріалів під впливом ударних хвиль напруг та деформацій// Промислова гідравліка та пневматика. - №2 (51), 2008. – С. 40 – 43.
6. Іскович-Лотоцький Р. Д. Основи теорії розрахунку та розробка процесів і обладнання для віброударного пресування. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 338 с.
7. Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 291 с.
8. Техническое руководство по трубчатым керамическим мембранам INSIDE CéRAM. Document B. BL. Handbuch Ru, 2004. – Rev. 23. – 36 с.