

АНАЛІТИЧНИЙ ПІДБІР ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ЦЕНТРИФУГИ І ЧАСУ ЦЕНТРИФУГУВАННЯ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Пономарьова Н.Г.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,

вул.Кирпичова,2,м.Харків,61002,nataliia.ponomarova@khp.edu.ua

У хімічній, біохімічній та мікробіологічній практиці часто доводиться стикатися із розділенням суспензій. Якщо для цього використовувати осадження в гравітаційному полі, процес осадження може протікати занадто довго. Ефективним способом є осадження у полі відцентрових сил – центрифугування. Частоту обертання ротора центрифуги і час центрифугування можна підібрати аналітично, використовуючи закономірності загальної динаміки та гідродинаміки. Для цього необхідно написати та перетворити об'єднане рівняння першого та другого законів Ньютона для частинки суспензії, що знаходиться в полі відцентрових сил та сил опору рідини та стінки пробірки. Сила опору рідини залежить від режиму руху частинки в рідині. Для визначення режиму слід використовувати чисельні безрозмірні критерії Архімеда та Рейнольдса. У цій роботі ці перетворення проведені, та отримані аналітично обернено пропорційна залежність часу центрифугування від частоти обертання. Розрахувавши серію даних "частота-час", можна вибрати оптимальну пару даних, виходячи з можливостей центрифуги та практичної доцільності. Результати розрахунків підтверджуються реальними дослідницькими даними, тому отриманий результат може вважатися ефективним.

Оскільки хід підбору залежить від параметра (критерій Рейнольдса), а також те, що для підбору необхідно розрахувати серію даних, найзручніше цей розрахунок запрограмувати. Пропонується проводити його за допомогою програми Microsoft Excel та програмування на мові VBA у додатку до неї.

Розглянемо сили, які діють на часточку у пробірці (рис. 1):

1) відцентрова сила $F_{ц}$:

$$F_{ц} = m \cdot a_{ц} = (\rho - \rho_0) \frac{\pi d^3}{6} \cdot 4\pi^2 n^2 R = \frac{2}{3} \pi^3 d^3 (\rho - \rho_0) n^2 (L \cos\alpha + r)$$

2) сила опору рідини $F_c = \xi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho_0 (\varphi v)^2}{2} = \frac{\pi \xi \rho_0 d^2 \varphi^2 L^2}{8\tau^2}$

3) сила реакції опору N . Відповідно до рис. 3 вона по модулю дорівнює $F_{ц} \sin\alpha$;

4) сила тертя частинки об стінку пробірки F_{τ} , що дорівнює $\mu_{\tau} N = \mu_{\tau} F_{ц} \sin\alpha$;

5) сила тяжіння. Вона діє, проте її величина набагато менше відцентрової сили, оскільки лабораторні центрифуги обертають із частотою не менше 1000 об/хв. У зв'язку з цим враховувати їх у розрахунку немає сенсу і рис. 1 вона не показана.

Таким чином, якщо спроектувати всі сили, що діють, на вісь, паралельну осі симетрії паза центрифуги (рис. 1), то вийде наступний вираз: $F_{ц} \cdot \cos\alpha - F_c - F_{\tau} = 0$. Підставивши в нього отримані вирази для сил, отримаємо

$$\frac{2}{3} \pi^3 d^3 (\rho - \rho_0) n^2 (L \cos\alpha + r) (\cos\alpha - \mu_{\tau} \sin\alpha) = \frac{\pi \xi \rho_0 d^2 \varphi^2 L^2}{8\tau^2};$$

$$\tau = \frac{\varphi L}{4\pi n} \sqrt{\frac{3\rho_0 \xi}{d(\rho - \rho_0)(L \cos \alpha + r)(\cos \alpha - \mu_\tau \sin \alpha)}} \quad (1)$$

де ρ - щільність часточки, кг/м³; d - розмір частки, м; n - частота обертання, об/с; L - пройдена відстань вздовж стінки пробірки, м; r - відстань від осі обертання до верхньої точки осі заповненої частини пробірки, м; μ_τ - коефіцієнт тертя часточки о стінку пробірки; α - кут нахилу паза для пробірки з суспензією в роторі центрифуги до горизонтальної площини (якщо пробірка при обертанні стає в горизонтальне положення, то $\alpha = 0$); τ - час проходження відстані L , с.

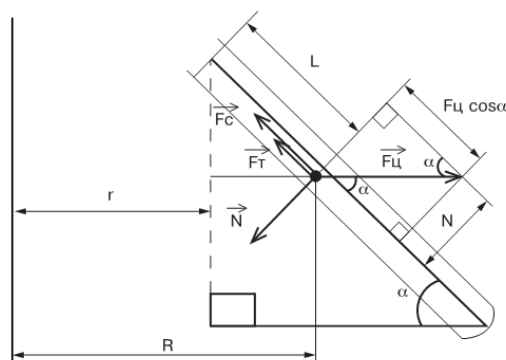


Рис. 1 – Сили, що діють на частку при центрифугуванні. Схематично показано пробірку з суспензією, що обертається навколо вертикальної осі.

Отримане рівняння (1) дозволяє розрахувати час проходження часткою відстані L при центрифугуванні. За цю відстань необхідно прийняти довжину заповненої суспензією частини судини.

Для зручності користування отриманими співвідношеннями і алгоритмом розрахунку автором створено готовий файл Microsoft Excel. Щоб скористатися файлом для розрахунку, потрібно дозволити макроси в налаштуваннях Excel, оскільки розрахунок виконується через макрос, яким є програма, написана в програмі VBA. Потім необхідно ввести заготовлені вихідні дані в комірки аркуша 1 файлу Excel відповідно: щільність і динамічна в'язкість дисперсійного середовища, кут нахилу паза ротора центрифуги до горизонтальної площини α , висота стовпа наливої в посудину суспензії, відсотковий вміст твердої фази в суспензії ϵ .

Після цього отримуємо результат у вигляді пар значень часу центрифугування та частоти обертання ротора центрифуги. Найбільш доцільно вибрати пару значень з меншим часом і, відповідно, більшою частотою. Проте слід враховувати, що часте використання центрифуги на максимальних оборотах зменшує термін її правильної та безпечної роботи.

Список літератури:

1. Онищук О. О, Кормош Ж.О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 155 с.
2. Дубинін А. І., Гаврилів Р. І., Гузьова І. О. Процеси та апарати хімічної технології: навч. посіб. з курсового проектування М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2012.360 с.