

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 8th International Research and Practical Conference

**CHEMICAL TECHNOLOGY:
SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VIII Міжнародної науково-практичної конференції

**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



Фармак



ISSN 2786-4898

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Шосткинський інститут Сумського державного університету
Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки збройних сил України
Публічне акціонерне товариство «Фармак»
Управління освіти Шосткинської міської ради
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 8th International Research and Practical Conference

CHEMICAL TECHNOLOGY: SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VIII Міжнародної науково-практичної конференції
**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**

(м. Шостка, 27-29 листопада 2024 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2024

УДК 66.01

Редакційна колегія:

Головний редактор Закусило Р.В., доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н., доцент.

Заступник головного редактора Павленко О.В., завідувач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н.

Відповідальний секретар Скуба Ю.Г. фахівець кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету.

Члени редакційної колегії:

Кравець В.Г. – професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, д.т.н., професор;

Худолей Г.М. – завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій, к.т.н;

Тур О.М. – доцент кафедри економіки та управління, к.е.н.;

Тимофіїв С.В. – ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.х.н.;

Пригара І.О. – ст. викладач кафедри економіки та управління, к.е.н.

Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 27 - 29 листопада 2024 року. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 242 с.

ISSN 2786-4898.

Збірник містить наукові праці учасників VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», що складаються з узагальнених матеріалів науково-дослідних робіт науковців різних галузей виробництва та наукових закладів України.

У збірнику висвітлюються актуальні питання спеціальної хімічної технології і виробництва боєприпасів, утилізації відходів виробництва різних галузей, енергозбереження, моделювання технологічних процесів, соціально-економічні аспекти виробництва та природокористування в умовах війни.

Збірник корисний робітникам хімічної промисловості, науковим співробітникам, аспірантам і студентам спеціальностей хіміко-технологічного та соціально-економічного профілів, фахівцям інформаційних технологій виробництва.

Наукові праці учасників конференції подаються в авторській редакції.

© Шосткинський інститут
Сумського державного університету, 2024
© Сумський державний університет, 2024

РУХ КРАПЕЛЬ У ЗОНІ КОНТАКТУ ВИХРОВОГО ПОТОКУ ПРИ РОБОТІ ПЛІВКОВИХ ВІДЦЕНТРОВИХ РОЗПИЛЮВАЧІВ РІДИНИ

Т.М. Шевцова, С.О. Фалько

Відокремлений структурний підрозділ
«Шосткинський фаховий коледж імені Івана Кожедуба
Сумського державного університету»
S.falko@htcolledge.sumdu.edu.ua

При розробці конструкцій і розрахунку основних характеристик вихрових масообмінних апаратів, заснованих на принципах віялового розпилювання виникає потреба в дослідженні гідродинамічних характеристик руху розпорошеної рідкої фази в газовому потоці, в частості траєкторій і швидкостей руху крапель [1], [2], [3], [4].

Основну визначальну роль в поведінці краплі в газовому потоці грає сила внутрішнього тертя, що з'являється, як сила опору газовому потоку з боку крапель рідини, що прискорюються в цьому потоці. Ця сила визначає не тільки сам процес диспергування крапель рідини, але і їх траєкторію, а також перепад тиску в газовому потоці віялового розпилювача. Сила опору, діюча на краплю, що вільно переміщується в газовому ізотропно-турбулентному потоці, згідно закону Ньютона, визначається залежністю:

$$F_{\xi} = \xi \frac{P_r u^2}{2} S_0, \quad (1)$$

де u – відносна швидкість краплі по відношенню до швидкості газового потоку; P_r – щільність газової фази; $S_0 = n d_k^2 / 4$ – лобовий перетин краплі, де d_k – діаметр краплі, що не деформується.

Коефіцієнт гідродинамічного опору ξ , є функцією відносної швидкості u , точніше, функцією числа Рейнольдса:

$$\xi = \xi(\text{Re}), \quad \text{Re} = \frac{P_r u_0 d_k}{\mu_r} \quad (2)$$

де: μ_r – динамічна в'язкість газу.

Із-за складного процесу обтікання крапель газом, функцію ξ не вдається представити єдиним аналітичним виразом для широкого діапазону змін чисел Рейнольдса. Відомі, експериментально знайдені, достовірні значення в достатньо широкому інтервалі чисел Re для чинника форми $f=1$ (тобто для сферичної краплі, що не деформується). Ці експериментально знайдені значення приведені у вигляді таблиць [5], [6]. Для опису динаміки руху частинки в двофазному потоці необхідно скласти диференціальні рівняння руху частинки, куди увійшли б гідродинамічна сила з коефіцієнтом опору, залежним від відносної швидкості частинки і її діаметру і обчислювані шляхом відповідних інтерполяцій експериментальні дані з таблиць. Отримані рівняння вирішуються на *ЕОМ* при достатньо малому кроці. Прийmemo, що крапля масою m влітає з початковою швидкістю V_0 під кутом α в рухомий

газовий потік швидкістю W в вихровій камері. Схема основних сил і швидкостей при русі краплі в каналі віялового розпилювача показана на рисунку 1.

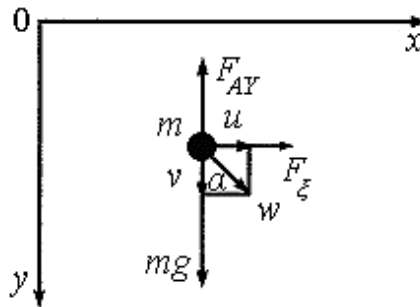


Рисунок 1 - Схема основних сил і швидкостей при русі краплі в каналі віялового розпилювача

При цьому режим руху газової фази – рівномірно-турбулентний.

Відповідно до другого закону Ньютона, загальне рівняння динаміки руху краплі у векторній формі має вигляд:

$$m \frac{d\vec{w}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_{Ar} + \vec{F}_{\xi}, \quad (3)$$

де \vec{w} – швидкість руху краплі; $m\vec{g}$ – сила тяжіння; \vec{F}_{Ar} – Архімедова сила; \vec{F}_{ξ} – сила, з якою газовий потік діє на краплю (дорівнює силі в'язкого тертя).

Розташовуємо двомірну систему координат з початком в точці зриву краплі з плівкоутворювача. Вісь OX направимо горизонтально, а вісь OY – вертикально. Проекції швидкості краплі виразимо наступним образом: на вісь OX через u , на вісь OY – через v . Швидкість газу уздовж осі OX – u_g .

Проекції векторного рівняння (3) на осі координат OX і OY для будь-якого моменту часу матимуть вигляд:

$$\begin{aligned} m \frac{du}{dt} &= \xi \frac{\pi d_k^2 \rho_g}{4} \frac{(u_g - u)^2}{2}, \\ m \frac{dv}{dt} &= mg - \rho_g V_k g - \xi \frac{\pi d_k^2 \rho_g v^2}{4} \frac{1}{2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де V_k – об'єм краплі рідини.

Розділимо обидві частини рівнянь (4) на масу краплі m :

$$m = \rho_k V_k = \rho_k \frac{\pi d_k^3}{6}, \quad (5)$$

де ρ_k та V_k – відповідно щільність речовини краплі і її об'єм.

Приведемо ці диференціальні рівняння другого порядку до системи диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= u, \\ \frac{dy}{dt} &= v, \\ \frac{du}{dt} &= \frac{3}{4} \xi_x \frac{\rho_g (u_g - u)^2}{\rho_k d_k}, \\ \frac{dv}{dt} &= g \frac{(\rho_k - \rho_g)}{\rho_k} - \frac{3}{4} \xi_y \frac{\rho_g v^2}{\rho_k d_k} \end{aligned} \quad (6)$$

Система рівнянь вирішується за початкових умов:

$$t=0, x=y=0, u_g = \text{const}, u_0 = u_g = u_l \sin \alpha, V_0 = u_l \cos \alpha,$$

де u_l – швидкість сходу плівки в контактний апарат (початкова абсолютна швидкість краплі); d_k, ρ_k, ρ_g – діаметр краплі, щільність краплі і щільність газу; μ – динамічна в'язкість газу; α – кут між вертикаллю і площиною плівки утворювача.

Вирішення системи (6) проводиться в наступному порядку.

Вибирається крок інтеграції за швидкістю. По заданих діаметру краплі і початкових складових швидкостей по формулі (2) визначаються Re_x і Re_y . По масиву табличних значень критерію Re [5], [6], знаходимо значення коефіцієнтів опору ξ_x, ξ_y , по осях OX і OY . До швидкості додається крок інтегрування. Знову визначаються Re_x і Re_y по масиву табличних значень критерію Re . Знаходимо проміжні значення коефіцієнтів опору ξ_x, ξ_y , по осях OX і OY . Підставляємо їх в систему рівнянь (6) і обчислюємо координати x і y (точок траєкторії) і величини складових швидкостей, у цих точках. Після цього додаємо крок інтегрування по швидкості, і процес циклічно повторюємо до досягнення максимальних заданих значень x і y . Деякі результати вирішення рівнянь у вигляді графіків приведені нижче.

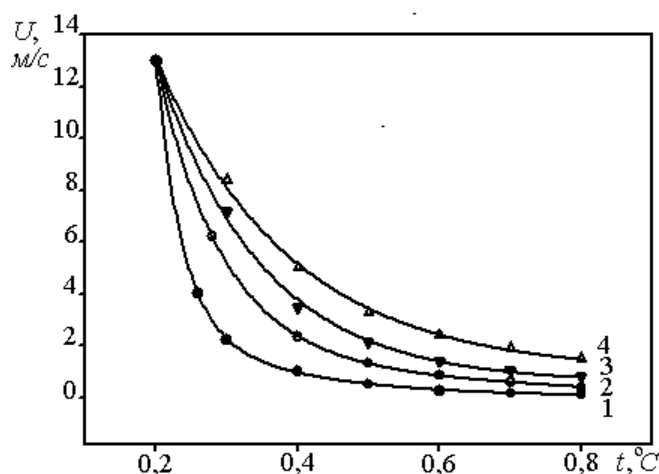


Рисунок 2 - Залежність горизонтальної складової відносної швидкості U від часу руху краплі. Криві 1 – 2 – 3 – 4 відповідають діаметрам крапель води 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм відповідно

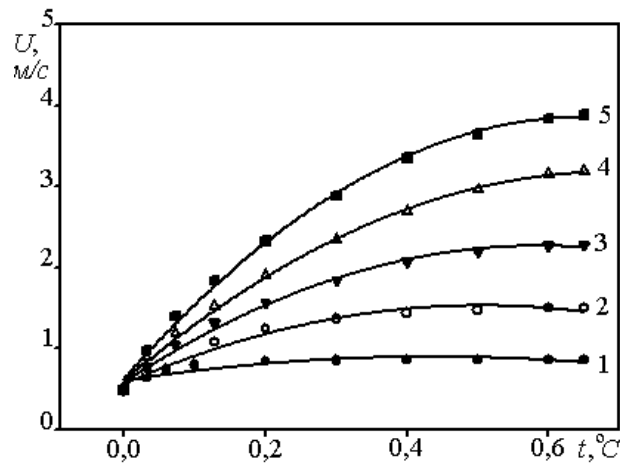


Рисунок 3 - Залежність вертикальної складової швидкості краплі від часу руху. Криві 1 – 2 – 3 – 4 – 5 відповідають діаметрам крапель води 0,25 – 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм відповідно

Графіки на рисунку 3 показують, що вертикальна складова швидкості краплі після деякого часу руху наближається до швидкості седиментації.

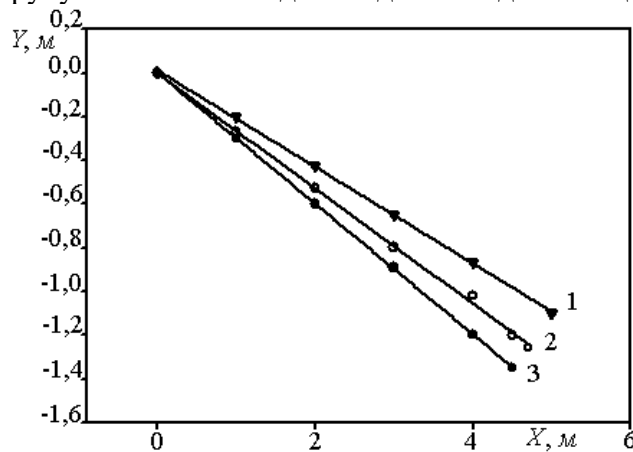


Рисунок 4 - Траєкторія краплі діаметром 0,6 мм при швидкості газового потоку 10 м/с. Криві 1 – 2 – 3 відповідають щільності рідини 800 – 1000 – 1400 кг/м³

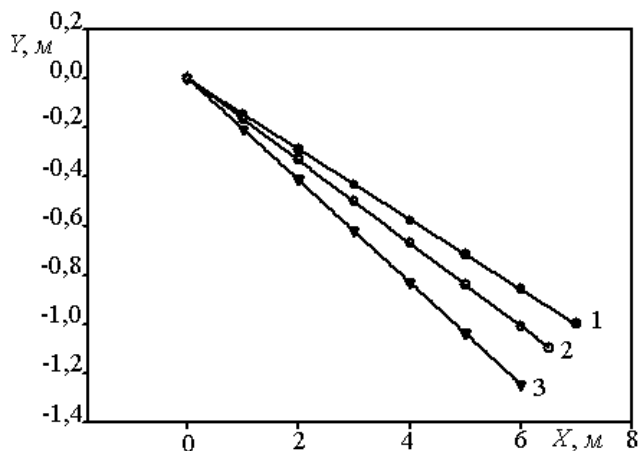


Рисунок 5 - Траєкторія краплі діаметром 0,6 мм при швидкості газового потоку 14 м/с. Криві 1 – 2 – 3 відповідають щільності рідини 800 – 1000 – 14 кг/м³

Графіки на рисунках 6 і 7 дають уявлення про траєкторії руху крапель води різних розмірів при різних швидкостях газової фази.

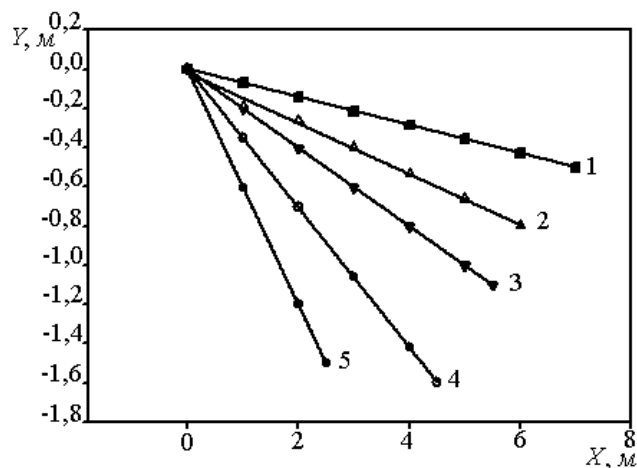


Рисунок 6 - Траєкторії крапель при швидкості газового потоку 10 м/с. Кривим 1 – 2 – 3 – 4 – 5 відповідають діаметри крапель води 0,25 – 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм

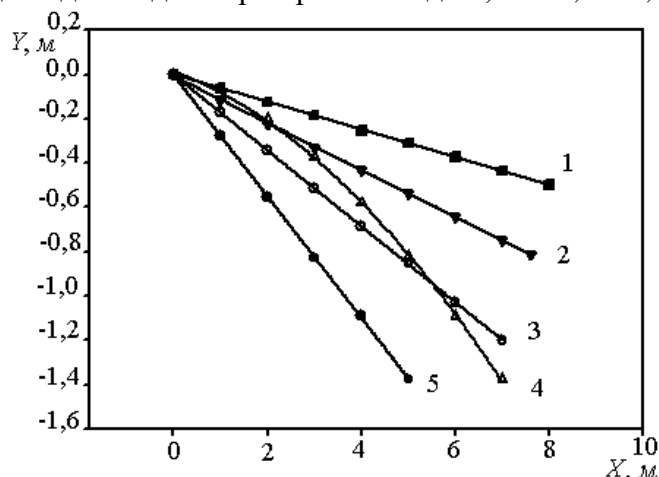


Рисунок 7 - Траєкторії крапель води при швидкості газового потоку 14 м/с. Кривим 1 – 2 – 3 – 4 – 5 відповідають діаметри крапель води 0,25 – 0,4 – 0,6 – 1,0 – 1,5 мм

З рисунка 2 видно, що швидкість краплі рано чи пізно наближається до швидкості газу в каналі віялового розпилювача.

Аналізуючи результати розрахунків і досліджень, можна зробити однозначні висновки про поведінку крапель рідини, що розпилюється:

Якщо відмінність полягає в діаметрах крапель, коли решта параметрів однакові, то велика крапля падає швидше, і захоплюється уздовж потоку повільніше, це ж прийнятне для крапель з більшою і меншою щільністю. Час захоплення, тобто час, протягом якого горизонтальна складова швидкості u краплі досягає значення $\geq 0,9u_g$ різко зростає із збільшенням діаметру краплі. Відмінність кутів потрапляння α краплі істотно не позначається на її траєкторії. Так траєкторії крапель діаметром 0,5

ММ, що потрапляють в потік під кутами $30-45-55^\circ$ дуже близькі одна до іншої (практично паралельні).

У всіх варіантах руху крапель в віялових розпилювачах після часу руху $t > 0,6c$ траєкторії руху крапель стають практично прямолінійними. Тангенс кута, під яким рухається крапля в газовому потоці після стабілізації швидкостей, дорівнює:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{u_g}{V_s} \quad (7)$$

де u_g, V_s – швидкість газової фази в каналі і швидкість седиментації крапель рідини певного розміру (діаметру).

Проведені розрахунки і виводи по кінематиці крапель добре узгоджуються з візуальними спостереженнями траєкторій і дослідженнями, виконаними методом фотографування траєкторій руху крапель в газовому потоці.

Список літературних джерел

1. Черняк Л. М., Фалько С. О., Самков О. В. Стенд для вивчення гідродинамічних параметрів вихрових апаратів //Матеріали та програма науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету: присвяченої Дню науки в Україні та 60-річчю СумДУ, 21-24 квітня – Суми: СумДУ, – 2008, Т.1, – 75–76.

2. Черняк Л. М., Фалько С. О. Вимірювання об'ємних витрат рідин, кутових і лінійних швидкостей кромки розпилювача, //Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2011», т. 5, Одеса, – 2011, – 52–54 с.

3. Черняк Л. М., Фалько С. О., Самков О. В. Вибір методики визначення дисперсного складу крапель у факелі диспергованої рідини //Матеріали та програма науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фізико-технічного факультету: присвяченої Дню науки в Україні та 60-річчю СумДУ, 21-24 квітня, Суми: СумДУ, т. 1, – 2008, – 77–78 с.

4. Черняк Л. М., Фалько С. О. Апробація методики досліджень дисперсного складу крапель у факелі розпалюваної рідини при роботі плівкового розпилювача., //XIX Міжнародна науково-практична конференція., Харків, 01-03 червня, частина 11, – 2011, – 268 с.

5. Черняк Л. М., Фалько С. О. Дослідження залежності об'ємноповерхневого діаметру крапель від швидкості газової фази у вихровій камері., //XIX Міжнародна науково-практична конференція., Харків, 01-03 червня, частина 11, – 2011, – 269 с.

6. Черняк Л. М., Фалько С. О. Дисперсний склад крапель у факелі, утвореним віяловим розпилювачем при диспергуванні малов'язких рідин, : «Восточно-европейский журнал передовых технологий», 4/5 (46), – 2010, – 16–19 с.