

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ

УДК 53.092

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-1(25)-77-80

*В. А. Кравець**Донбаська національна академія
будівництва і архітектури
(м. Краматорськ)*

КОАГУЛЯЦІЯ І ДИСПЕРГУВАННЯ В ПОЛІДИСПЕРСНИХ РІДКИХ АЕРОЗОЛЯХ В РЕЗУЛЬТАТІ ЗОВНІШНЬОЇ АЕРОДИНАМІЧНОЇ ДІЇ

У полідисперсних рідких аерозолях (туманах) в результаті зовнішньої аеродинамічної дії можуть відбуватися процеси коагуляції і диспергування крапель. Ці процеси впливають на величину загальної поверхні крапель полідисперсного аерозолю, що, в свою чергу, впливає на тривалість осідання аерозолю, інтенсивність випаровування та розповсюдження. Це має велике практичне значення для оцінки поведінки аерозольних хмар, що утворилися в результаті вибуху, механічного дроблення при падінні рідини з великої висоти, або коли рідина роздувається потоком газу. Такі ситуації характерні для техногенних катастроф, розпилюванні інсектицидів та гербіцидів за допомогою авіації або при використанні хімічних засобів ведення війни. Встановлено, що характер процесів визначається швидкістю газу відносно крапель полідисперсного аерозолю. Існує критична швидкість газу, яка визначає напрям процесів змінення загальної поверхні полідисперсного аерозолю. За швидкістю, менш критичної, відбувається процес зіткнення краплин різного діаметру і йдуть процеси коагуляції, в результаті чого загальна площа поверхні аерозолю зменшується. При швидкостях, що перевищують критичну швидкість, паралельно з коагуляцією починається процес роздрібнення крапель, що приводить до збільшення площі поверхні аерозолю. Теоретичним шляхом, на основі рівнянь енергетичного балансу, отримана математична залежність відносної поверхні аерозолю від відношення швидкості газу до критичної швидкості. Ця залежність має характер квадратичної функції. Величина критичної швидкості залежить від критичного значення критерію Вебера (We). Для аерозолів механічного походження рекомендовано приймати критичне значення критерію Вебера $We_{кр}=1,3$. Отримана залежність була використана при розробці технології подавлення бурого диму газоподібним азотом при переливах чавуну на підприємствах чорної металургії.

Ключові слова: рідкий аерозоль, коагуляція, диспергування, краплі, площа поверхні аерозолю, критична швидкість, критерій Вебера.

Постановка проблеми. Питання коагуляції, диспергування та осідання рідких аерозолів (туманів) мають велике практичне значення для оцінки поведінки аерозольної хмари в техногенних катастрофах, при використанні хімічних засобів війни та утворення диму за механізмом випаровування та конденсації, наприклад, при утворенні бурого металургійного диму при переливах розплавленого чавуну з міксера по ківшах. У класичній роботі [1] закладені фізичні основи процесів формування, коагуляції та осадження аерозолів. В [2] запропонована кінетична модель коагуляції з застосуванням цифрових технологій.

Однак процеси коагуляції і диспергування в полідисперсних рідких аерозолях під зовнішнім аеродинамічним впливом, наприклад, коли вітер або при подачі азоту для придушення викидів бурого диму в металургії [3,4], ще недостатньо вивчені.

Для процесів випаровування і конденсації в аерозолях важливим параметром є загальна поверхня крапель. Розглянемо питання про вплив на цю поверхню аеродинамічної дії газу.

При подрібненні рідини в результаті вибуху або удару по поверхні утворюється велика кількість бризок. Ці бризки в момент утворення набувають приблизно однакову швидкість. Згодом, в результаті спротиву навколишньої середовища, бризки диференціюються за швидкістю, що приводить до їх зіткнень один з одним і коагуляції. Великі, масивні краплі майже не втрачають

швидкість на невеликих відстанях від точки утворення, а маленькі краплини, навпаки, швидко її втрачають.

Результати та обговорення. Рух газу в бік аерозольної хмари повинен прискорити процеси коагуляції, адже гальмівний вплив навколишнього середовища на невеликі бризки збільшується. Припускаючи, що в разі аеродинамічної дії дрібні крапельки швидко втрачають власну швидкість і починають рухатися з газом, отримуємо, що кількість зіткнень бризок за одиницю часу може бути виражена як:

$$n = S_k (w_o + w) C \quad (1)$$

де n – кількість зіткнень в секунду; S_k – площа поперечного перерізу масивної крапельки, m^2 ; w_o – швидкість масивної крапельки, що придбана в момент утворення, m/s ; w – швидкість газу, рівна швидкості руху малих крапель, що рухаються разом з газом, m/s ; C – концентрація крапель в аерозолі, m^{-3} .

З виразу (1) видно, що збільшення швидкості газу повинно привести до збільшення кількості зіткнень і процесу коагуляції бризок.

З іншого боку, збільшення швидкості газу більш ніж на якоесь критичне значення $w_{кр}$ призводить до дроблення найбільших крапель, тобто до процесу зворотного коагуляції.

Відповідно до закону збереження енергії, витрата кінетичної енергії газу для зміни поверхні аерозолу може бути виражена

$$V_o \rho (w - w_{кр}) dw = k \sigma dS, \quad (2)$$

де V_o – об'єм аерозолу, на який газ надає динамічну дію, m^3 ; ρ – щільність газу, kg/m^3 ; w – швидкість газу відносно частинки, m/s ; $w_{кр}$ – критична відносна швидкість газу на початку дроблення, m/s ; k – коефіцієнт пропорційності; σ – поверхневий натяг рідини, $Dж/m^2$; S – загальна поверхня аерозолу, m^2 .

Як видно з (2), характер зміни поверхні залежить від співвідношення швидкостей. При $w > w_{кр}$ значення $dS > 0$, тобто поверхня збільшується (диспергування), при $w < w_{кр}$ значення $dS < 0$, тобто поверхня зменшується (коагуляція).

Припустимо, що частка кінетичної енергії, споживаної для змінення поверхні аерозолу, не змінюється в практично використовуваному діапазоні швидкості, тобто $k = const$.

Для критичного значення швидкості газу, з якою починається додаткове диспергування крапель, можна зафіксувати

$$S_0 \frac{\rho w_{кр}^2}{2} = k \sigma l_o, \quad (3)$$

де l_o – периметр краплі, m .

Отже, враховуючи, що:

$$S_0 = \frac{\pi \times d_0^2}{4}, \text{ а } l_o = \pi d_0,$$

де d_0 – середній діаметр краплі, ми отримуємо:

$$k = \frac{W e_{кр}}{8}, \quad (4)$$

де $W e_{кр} = \frac{\rho \cdot w_{кр}^2 \cdot d_0}{\sigma}$ є критичним значенням критерію Вебера.

Значення $W e_{кр}$ залежить від механізму утворення аерозолу та розміру крапель. В [3] рекомендується приймати $W e_{кр} = 1,3$ для аерозолів механічного походження (вибух або подрібнення при ударі по поверхні).

Підставляючи значення k до (2), проінтегруємо:

$$V_o \rho \int_0^w (w - w_{кр}) dw = (w_{кр} / 8) \sigma \int_{S_0}^S dS \quad (5)$$

Після інтегрування, замінюючи значення $W e_{кр}$, і враховуючи, що:

$$V_0 = C \times \frac{\pi \cdot d_0^3}{6}, \text{ а } S_0 = C \times \frac{\pi \times d_0^2}{4},$$

після перетворень, отримуємо:

$$\frac{S}{S_0} = 0,67 \frac{w^2}{w_{кр}^2} - 1,33 \frac{w}{w_{кр}} + 1. \quad (6)$$

Графік отриманої залежності показаний на рисунку. З графіка видно, що спочатку збільшення швидкості газу призводить до зменшення поверхні випаровування, тобто відбувається процес коагуляції крапель. При $w=w_{кр}$ поверхня мінімальна. Подальше збільшення швидкості газу призводить до додаткового диспергування рідких крапель, що призводить до збільшення поверхні аерозолі.

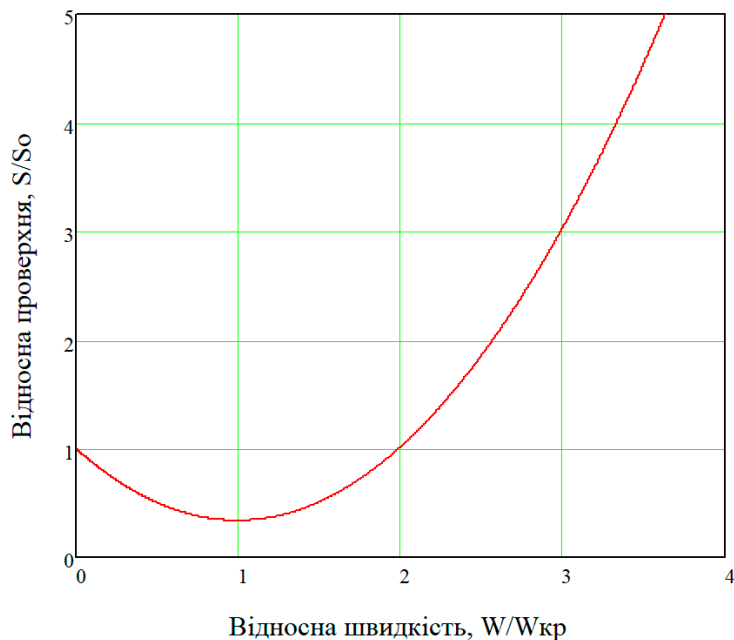


Рис. Залежність поверхні аерозолі від швидкості газу

Висновки:

1. У полідисперсних рідких аерозолях (туманах) із зовнішнім аеродинамічним впливом можуть відбуватися процеси коагуляції та дисперсії крапель.
2. Характер процесу визначається величиною швидкості потоку газу по відношенню до крапельки. Зі швидкістю, менш критичною, переважають процеси коагуляції. При перевищенні критичної швидкості паралельно розвиваються процеси подрібнення крапель.
3. В результаті зовнішнього аеродинамічного впливу загальна поверхня рідкого аерозолі зі збільшенням швидкості газу спочатку зменшується за рахунок процесів коагуляції, а потім починає збільшуватися за рахунок процесів диспергування.

Література

- 1 Fuchs N.A. The mechanics of aerosols. – London. Pergamon Press. 1964. – 408 p.
- 2 Пискунов В.Н. Теоретические модели кинетики формирования аэрозолей. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2000 – 209 с.
- 3 Кравец В.А. Подавление бурого дыма и графитоулавливание при переливах чугуна: научная монография. – Харьков: impress. 2021. – 248 с.
- 4 Кравец В.А. Образование и подавление бурого дыма при переливах чугуна. // Вестник Приазовского технического университета, 1999, №8. – С. 16-24.

*V. Kravets**Donbas National Academy of Civil
Engineering and Architecture (Kramatorsk)*

COAGULATION AND DISPERSION IN POLYDISPERSE LIQUID AEROSOLS AS A RESULT OF EXTERNAL AERODYNAMIC ACTION

The processes of coagulation and dispersion of droplets can occur in polydisperse liquid aerosols (fogs) as a result of external aerodynamic action. This affects the total surface of polydisperse aerosol droplets, which determines the duration of aerosol sedimentation, evaporation intensity and distribution. This is of great practical importance for assessing the behavior of aerosol clouds formed as a result of an explosion, mechanical crushing when a liquid falls from a high altitude, or when it is blown by the gas flow. These situations are characteristic of man-made disasters or chemical means of warfare. It has been established that the nature of the processes is determined by the speed of gas in relation to droplets of polydisperse aerosol. There is a critical gas speed that determines the direction of the processes of changing the surface of the polydisperse aerosol. At a speed less than the critical one, the coagulation processes occur and the surface of the aerosol decreases. At speeds exceeding the critical speed, in parallel with coagulation, the process of droplets crushing begins, which leads to an increase in the aerosol surface. The mathematical dependence of the relative aerosol surface on the ratio of the gas velocity to the critical velocity has been obtained. This dependence has the character of a quadratic function. The magnitude of the critical velocity depends on the critical value of the Weber criterion (We). It is recommended to take the critical value of the Weber criterion $We_{cr} = 1.3$ for the aerosols of mechanical origin.

Key words: liquid aerosol, coagulation, dispersion of droplets, aerosol surface, Weber criterion.

References

- 1 Fuchs N.A. The mechanics of aerosols. – London: Pergamon Press, 1964. – 408 p.
- 2 Piskunov V.N. Teoreticheskie modeli kinetiki formirovaniia aerorozolei. – Sarov: RFIATS-VNIIEF, 2000. – 209 s.
- 3 Kravets V.A. Podavlenie burogo dyma i grafitoulavlivanie pri perelivakh chuguna: nauchnaia monografiia. – Kharkov: impress, 2021. – 248 s.
- 4 Kravets V.A. Obrazovanie i podavlenie burogo dyma pri perelivakh chuguna. // Vestnik Priazovskogo tekhnicheskogo universiteta. 1999. №8. – S. 16-24.