

УДК 532.529

Р.Л. Якобчук, канд. техн. наук (НУХТ, Київ)

В.Л. Яровий, канд. техн. наук (НУХТ, Київ)

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ЧИННИКІВ ВІДЦЕНТРОВО-ПНЕВМАТИЧНОЇ ФОРСУНКИ НА ДИСПЕРСНІСТЬ ФАКЕЛУ РОЗПИЛЕННЯ ПИВНИХ ДРІЖДЖІВ

Проведено аналіз чинників, які впливають на процес розпилення дріжджової суспензії, встановлено залежність медіального діаметра краплин пивних дріжджів від швидкості газорідної суміші у відцентрово-пневматичній форсунці та розподілення краплин дріжджів у факелі форсунки.

Проведен анализ факторов, влияющих на процесс распыления дрожжевой суспензии, установлена зависимость медимального диаметра капель пивных дрожжей от скорости газожидкостной смеси в центробежно-пневматической форсунке и распределение капель дрожжей в факеле форсунки.

An analysis of factors influencing the process of spraying a suspension of yeast, established the dependence of the medial diameter of the drops of brewer's yeast on the speed of gas-liquid mixture in a centrifugal-pneumatic nozzle and the distribution of the drops of yeast in the facula injector.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Для розв'язання задач, пов'язаних із динамікою руху двохфазних дисперсних систем та тепломасобміном в цих системах, необхідно знати дисперсний склад

краплин, які утворюються в результаті розпилювання рідини. У зв'язку з цим, виявлення закономірностей формування дисперсного складу краплин під час розпилювання рідин мав безперечне практичне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналітичні та експериментальні дослідження гідродинаміки розпилювання пневматичними та відцентровими форсунками дають можливість отримати співвідношення для розрахунку дисперсності розпилювання, кута факела розпилю, а також визначити його наповненість за радіусу. Результати досліджень є важливими для розв'язання задачі вибору раціональної конструкції форсунки, визначення швидкості руху рідини, газу та розташування форсунки у псевдозрідженому шарі інертного матеріалу камери сушарки [3, 5].

Відомо, що в разі витікання рідини з відцентрової форсунки утворюється конічна плівка. Розпад таких плівок вивчений і описаний досить широко [6]. Механізм розпаду плівки рідини за форсункою залежить, головним чином, від форми факела, що витікає, і співвідношення швидкостей рідини й оточуючого середовища.

Розрахунки товщини плівки рідини, що витікає з відцентрової форсунки, показують, що в міру віддалення від отвору сопла товщина її зменшується. Товщину плівки в місці розпаду можна визначити, якщо відомо відстань від зрізу сопла до місця руйнування плівки. За значеннях критерію $We \leq 10$ для розрахунку товщини плівки можна скористатися результатами досліджень [3], а при більших значеннях критерію We ($We \rightarrow \infty$) – формулою :

$$\frac{\delta_p}{\delta_0} = \frac{1}{1 + L \sin \frac{\gamma}{2}}, \quad (1)$$

де δ_p – товщина плівки рідини у факелі розпилення, м;

δ_0 – товщина плівки рідини у вихідному перерізі сопла форсунки, м;

L – безрозмірна довжина плівки; $\frac{\gamma}{2}$ – половина кореневого кута

факела.

Відомо, що безрозмірна довжина плівки L зменшується зі збільшенням швидкості витікання рідини із сопла.

Дослідами, проведеними Вайнбергом [3] при розпилюванні води низьконапірними форсунками (діапазон перепаду тисків від 0,02 до 0,175 МПа), встановлений зв'язок з безрозмірними критеріями, що визначають розпад плівки та отримано емпіричну формулу для визначення товщини плівки δ у місці її розпаду, м:

$$\frac{\delta p}{d_c} = 0,0075 \ln(28 \Delta p d_c), \quad (2)$$

де d_c – діаметр сопла форсунки, м; Δp – перепад тисків на форсунці, МПа.

Мета та завдання статті. Метою даної статті є визначення дисперсності частинок факела розпилення пивних дріжджів, а завданням – дослідження впливу конструктивних чинників відцентрово-пневматичної форсунки на факел розпилення.

Виклад основного матеріалу дослідження. У результаті аналізу теоретичних та експериментальних досліджень, запропонована конструкція відцентрово-пневматичної форсунки [7], яка передбачає також використання її як відцентрової, тобто з подачею та без подачі повітряного потоку в неї.

Розглянемо вплив на дисперсність факела основних чинників, які зумовлені конструкціями відцентрової та відцентрово-пневматичної форсунок і умовами їх роботи.

Так, закручування повітряного потоку в напрямку, який співпадає з рідинним приводить до зменшення їх взаємного змішування [1], що необхідно врахувати під час забезпеченні рівномірного розподілення пивних дріжджів у факелі розпилення та зменшенні дисперсності краплин.

З аналізу літературних джерел [2, 4, 6] та оброблення результатів проведених досліджень, встановлено функціональну залежність середнього діаметра краплин пивних дріжджів від конструктивних параметрів форсунки та фізико-механічних властивостей пивних дріжджів, м:

$$d_m = 3,15 \cdot d_c \cdot \sigma^{0,42} \cdot \eta^{0,33} \cdot v_c^{-0,31}, \quad (3)$$

де $v_c = \frac{v_{oc} + kv_{\pi}}{1 + k}$ – швидкість газорідної суміші, м/с;

v_{oc} – осьова швидкість рідинного потоку, м/с;

v_{π} – швидкість повітряного потоку у форсунці, м/с;

$k = \frac{G_{\pi}}{G}$ – відношення витрат розпилюючого повітряного потоку

і рідини.

Рівняння (3) справедливе як для пневматичного так і для гідравлічного розпилення, у разі гідравлічного розпилення – $k=0$, $v_{\pi}=0$.

Дослідженнями встановлено залежність медіального діаметра

краплин пивних дріжджів за змінної концентрації і відповідних в'язкості й поверхневому натягу під час розпилення відцентрово-пневматичною форсункою без подачі повітря. Результати дослідження деструктурованих дріжджів показано на рис. 1.

Результати дослідження показали, що зі збільшенням швидкості руху рідини у форсунці діаметр краплин зменшується як для вихідних так і деструктурованих дріжджів. Діаметри краплин вихідних дріжджів більші ніж деструктурованих, але ці значення діаметрів не забезпечують достатню дисперсність дріжджів під час розпилення.

Для забезпечення меншої дисперсності розпилення дріжджів та збільшення швидкості їх руху, потоки рідини та повітря змішуються на виході із сопла форсунки. Залежність діаметрів краплин деструктурованих дріжджів різної концентрації, розпилених на відцентрово-пневматичній форсунці, від швидкості газорідинної суміші, показано на рис. 2.

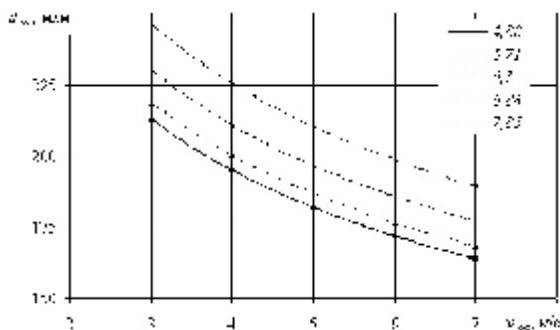


Рисунок 1 – Залежність медіального діаметра від швидкості руху деструктурованих дріжджів за концентрації сухих речовин 4,88...7,85%

Із графічних залежностей видно, що із збільшенням швидкості суміші діаметри краплин зменшуються. В межах швидкості 10...40 м/с інтенсивність зменшення діаметра вища ніж в межах 40...80 м/с, як для вихідних, так і деструктурованих дріжджів. У результаті аналізу графічних залежностей запропоновано рівняння для визначення діаметра краплин за концентрації пивних дріжджів $CP=4...10\%$, швидкості суміші $v_c=10...80$ м/с, $d_c=0,002$ м, температури $T=22$ °С і в'язкості в межах $(5 - 140) \cdot 10^{-3}$ Па·с та поверхневому натягу в межах $(35 - 53) \cdot 10^{-3}$ Н/м, які наведено у табл.

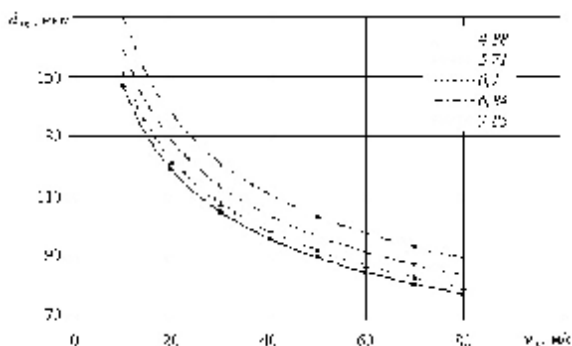


Рисунок 2 – Залежність медіального діаметра від швидкості газорідинної суміші для подрібнених дріжджів за концентрації сухих речовин 4,88...7,85%

Таблиця – Рівняння для визначення середнього медіального діаметра краплин пивних дріжджів, мкм

Умови роботи форсунки	Дріжджі	Рівняння
Без подачі повітря	вихідні	$d_m = 734,76 C P^{-0,2948} v_{oc}^{-0,31}$
	деструктуровані	$d_m = 134,4 C P^{0,458} v_{oc}^{-0,31}$
З подачею повітря	вихідні	$d_m = 835,72 C P^{-0,3622} v_c^{-0,31}$
	деструктуровані	$d_m = 134,4 C P^{0,458} v_c^{-0,31}$

Важливою характеристикою досконалості технологічного процесу розпилення є розподіл розпиленої рідини у факелі форсунки, що найбільш повно характеризується полем питомих потоків рідини в різних точках факела. Питомий потік рідини визначається як відношенню її секундної витрати ΔG через площадку ΔS_n , перпендикулярну напрямку польоту краплі, до величини цієї площадки:

$$q_n = \frac{\Delta G}{\Delta S_n}. \quad (4)$$

На рис. 3, 4 показані поля питомих потоків рідини на різних відстанях r від сопла відцентрово-пневматичної форсунки з подачею та без подачі повітря.

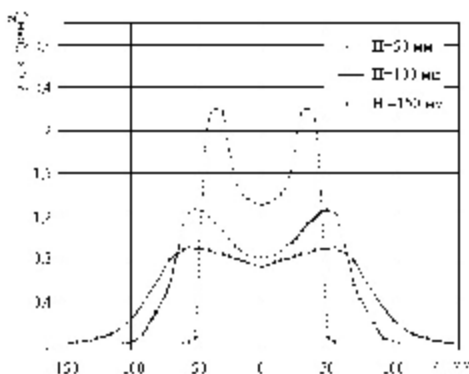


Рисунок 3 – Розподілення краплин деструктурованих дріжджів у факелі відцентрово-пневматичної форсунки без подачі повітря

У факелі відцентрово-пневматичної форсунки без подачі повітря питомий потік на осі має менші значення, ніж з подачею повітря, а зі збільшенням відстані від осі спочатку збільшується, а потім, досягнувши максимального значення, поступово зменшується. Така відмінність притаманна як для вихідних, так і деструктурованих дріжджів. Найкраще розподіл питомих потоків забезпечується відцентрово-пневматичною форсункою з подачею повітря для розпилення деструктурованих пивних дріжджів рис. 4.

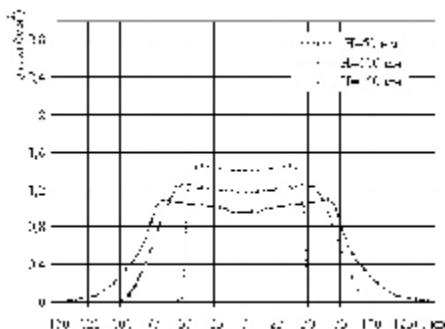


Рисунок 4 – Розподілення краплин деструктурованих дріжджів у факелі відцентрово-пневматичної форсунки з подачею повітря $v_c = 40$ м/с

Висновки. Проведено аналіз чинників, які впливають на процес розпилення дріжджової суспензії та встановлено залежність діаметра

краплин від конструктивних та технологічних параметрів.

Досліджено вплив подачі повітря у відцентрово-пневматичну форсунку на дисперсність краплин вихідних та деструктурованих пивних дріжджів. За результатами аналізу експериментальних даних, запропоновані рівняння (табл.) для визначення діаметра краплин вихідних і деструктурованих дріжджів за умови роботи відцентрово-пневматичної форсунки з подачею і без подачі повітря.

Досліджено розподілення краплин вихідних і деструктурованих дріжджів у факелі відцентрово пневматичної форсунки з подачею та без подачі повітря.

Список літератури

1. Теория турбулентных струй / Г.Н. Абрамович [и др.]. – М.: Наука, 1984. – 716 с.
2. Бородин В.А. О дроблении сферической капли в газовом потоке / В.А. Бородин, Ю.Ф. Дитякин, В.И. Ягодкин // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1962. – №1. – С. 125–132.
3. Бородин В.А. Распыливание жидкости / В.А. Бородин, Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко. – М.: Машиностроение, 1967. – 264 с.
4. Витман Л.А. Некоторые закономерности распыливания жидкости пневматическими форсунками / Л.А. Витман. – М; Л.: ГЗИ, 1958. – 330 с.
5. Витман Л.А. Распыливание жидкости форсунками / Л.А. Витман, Б.Д. Кацнельсон, И.И. Палеев. – М; Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 263 с.
6. Пажи Д.Г. Основы техники распыливания жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984.
7. Пат. 24349 У Україна, F26B21/00, F26B23/00, B05B7/04, B05B7/02, B05B7/24. Пневматична форсунка / Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий, В.А. Хомічук (Україна). – Опубл. 25.06.2007, Бюл. № 9.

Отримано 30.03.2012. ХДУХТ, Харків.

© Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий, 2012.