

УДК 631.563.4

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНИ МІЖ СОПЛАМИ ФОРСУНОК ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННОГО ЗМІШУВАЧА БЕЗАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ

Самойчук К.О., к.т.н,

Полудненко О.В., асистент*,

Циб В.Г., ст. викладач

Таврійський державний агротехнологічний університет (ТДАТУ)

Тел.(06192) 42-13-06

Бездітний А.О., к.т.н.

*Мелітопольський державний педагогічний університет імені Б.**Хмельницького*

Тел. (06192) 44-04-59

Анотація – у статті наведено результати аналітичних досліджень визначення оптимальної відстані між соплами форсунок протитечієно-струмінного змішувача і представлено результати комп'ютерного моделювання процесу змішування рідких компонентів у струмінному змішувачі.

Ключові слова – рідина, форсунка, струмінне перемішування, моделювання, дослідження.

Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями. Процеси перемішування знайшли досить широке розповсюдження у різних галузях харчової промисловості, зокрема при виробництві безалкогольних напоїв. При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування рідких компонентів. З огляду на зростаючі об'єми виробництва безалкогольних напоїв актуальними є розробка і впровадження у виробництво змішуючих апаратів, які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів при мінімальних витратах енергії і часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу різних конструкцій струмінних змішуючих апаратів було виділено протитечієно-струмінний, який поєднує у собі високу ефективність перемішування і можливість дозування підмішуваних компонентів. [4]

Протитечієно-струмінний змішувач (рис. 1) складається з двох форсунок 2, встановлених співвісно, корпусів камер вводу

© Самойчук К.О., к.т.н., доцент, Полудненко О.В., інженер, асистент*, Циб В.Г., інженер, ст. викладач., Бездітний А.О., к.т.н., доцент.

* Науковий керівник Самойчук К.О.к.т.н.

підмішуваного компонента 3 і ежекторів 4. Змішування відбувається у центральній частині камери змішування 1. У результаті проникнення часток одного струменя у зустрічний досягається висока рівномірність розподілу компонентів.

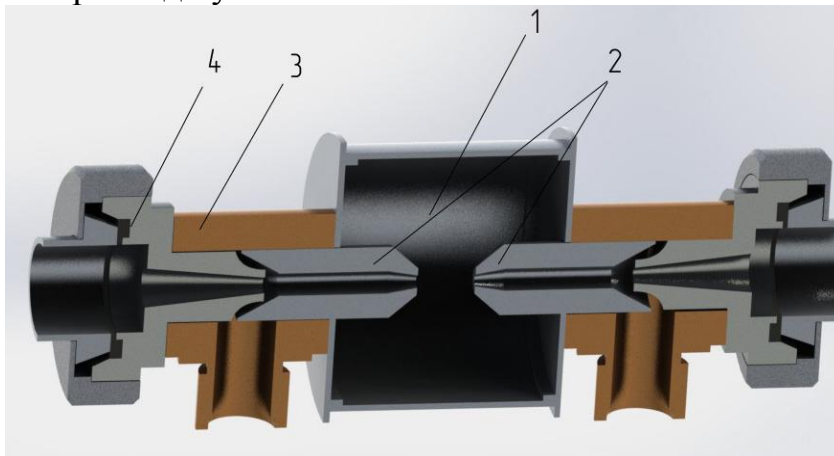


Рис. 1. Протитечійно-струминний змішувач:
1 – камера змішування; 2 – форсунка; 3 – корпус камери уводу підмішуваного компонента; 4 – ежектор.

Постановка завдання. Не зважаючи на очевидні переваги струминних змішувачів, такі апарати на сьогоднішній день є практично не дослідженими. Основною метою досліджень таких апаратів є визначення їх конструктивних, технологічних, енергетичних і якісних показників роботи. При визначенні конструктивних параметрів одним з основних завдань є визначення оптимальної відстані між форсунками.

Виклад основного матеріалу дослідження. Якість змішування залежить від багатьох факторів (конструкції змішувача, інтенсивності змішування, якостей перемішуваних рідин та інш.) і визначає в подальшому якість вихідного продукту.

Основними критеріями, які визначають процес перемішування, є число Рейнольдса, турбулентність, кінетична енергія турбулентності та величина її дисипації за площею зіткнення струменів [2].

Процес перемішування підготовленої води з купажним сиропом при протитечійно-струменевому змішуванні відбувається у два етапи. На першому з них перемішування води з сиропом відбувається у змішуючому каналі (соплі) форсунки. Фактично, процес перемішування води з сиропом на цьому етапі можна представити як окремий випадок перемішування у струминному апараті (потік підготовленої води передає кінетичну енергію потоку купажного сиропу шляхом безпосереднього контакту (змішування); потоки робочого і інжектваного компонентів надходять до камери змішування, де відбувається вирівнювання швидкостей), але основний

процес змішування буде відбуватися при зіткненні струменів.

Задача про зіткнення струменів належить до числа класичних. Найбільш повно вона викладена у роботах [5, 6, 7], де наведені аналітичні рішення задач про зіткнення будь-якої кількості струменів, як вільних, так і тих, що витікають з каналів з прямокутними стінками. Для випадку зіткнення двох струменів під довільними кутами задача є невизначеною, але має рішення у випадку протилежних напрямків струменів. Отримані рівняння для визначення швидкості кожної точки такого потоку, виходячи з ширини струменів і зсуву одного струменя відносно іншого (який звичайно не повинен перевищувати суми ширини струменів, інакше струмені не зіткнуться).

Схематично представимо це (рис. 2) з рядом припущень:

- вісі струменів рідини перетинаються;
- конструкція, форма та розміри форсунок, надлишковий тиск рідини, що подається через них, ідентичні, що, у свою чергу, формує симетричні відносно осі форсунок струмені рідини з ідентичними параметрами;
- не враховуємо відбиття струменів рідини від стінок камери, де розташовані форсунки;

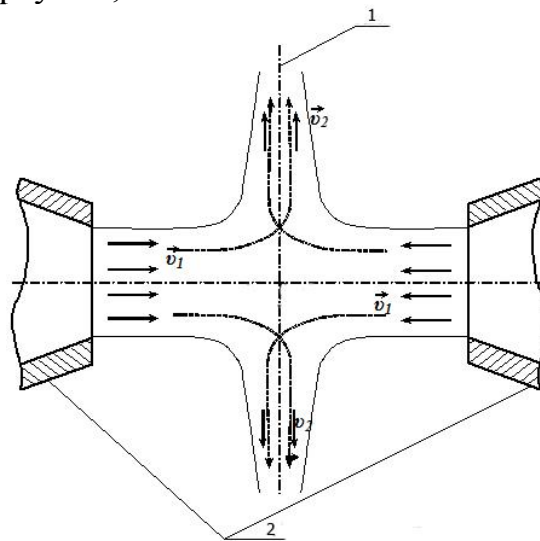


Рис. 2. Схема зіткнення струменів рідини.

1 – лінія розділу потоків; 2 – сопла форсунок; v_1 – швидкість руху рідини при виході з сопла форсунки; v_2 – швидкість руху потоку рідини після зіткнення струменів.

– вважаємо, що швидкість ядра струменя дорівнює швидкості потоку рідини на периферії. Ця умова практично виконується при малих відстанях від сопла, адже сопла форсунок плануються розташувати якомога ближче одне до одного, щоб збільшити швидкість зіткнення струменів [8];

– при зростанні концентрації купажного сиропу в напої від пропорції 1:3 до 1:6 щільність рідини збільшується на 2%, тому при подальших розрахунках зміна щільності напою не враховується.

Рідина при виході з сопла форсунки рухається зі швидкістю v_1 . Після зіткнення потік рідини змінює напрямок руху на 90° і рухається зі швидкістю v_2 , яка зменшується при збільшенні відстані від осі форсунок.

Із збільшенням швидкості струменя зростає число Рейнольдса, а, значить, зростає турбулентність потоку. Таким чином, для збільшення ступеня перемішування купажного сиропу з підготовленою водою необхідно збільшувати швидкість струменів рідини у момент зіткнення. Зрозуміло, що при збільшенні відстані між соплом та лінією розділу струменів швидкість потоку зменшується, завдяки чому буде зменшуватися і ступінь перемішування.

Відома залежність для визначення об'єму рідини, що витікає з форсунки за одиницю часу [9]. Для протитечійно-струминного змішувача, що складається з двох форсунок, можна записати

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{2} \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}, \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт витрат (залежить від конструкції форсунки);

d_c – діаметр сопел форсунок, м;

ρ – щільність рідини, кг/м³;

Δp – перепад між тиском рідини у середині форсунки і тиском навколишнього середовища, в яке витікає рідина.

Крім того, при зближенні форсунок на деяку величину a_{min} площа живого перерізу струменів, що відводяться, стане менше площі отворів сопел форсунок, внаслідок чого при незмінному значенні надлишкового тиску зменшиться продуктивність змішувача (1).

Розрахуємо мінімальну відстань між соплами форсунок a_{min} із умови забезпечення найвищої продуктивності змішувача.

Для отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача необхідно, щоб площа циліндричної поверхні, утворена соплами форсунок S_2 , м² (на рис. 3 відмічена штриховою лінією), була більше за площу отворів форсунок [10], тобто

$$S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4}.$$

Враховуючи, що $S_2 = \pi d_c a$, після перетворень отримаємо $a > \frac{d_c}{2}$, тобто $a_{min} = 0,5d_c$. Звідки при $a \geq d_c / 2$ продуктивність протитечійно-струминного змішувача визначається за формулою (1), а при $a < d_c / 2$ – за формулою $Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}$.

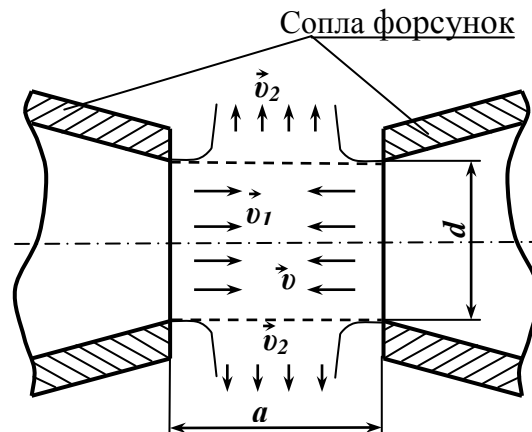


Рис. 3. Схема визначення мінімальної відстані між соплами форсунок з умови отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача.

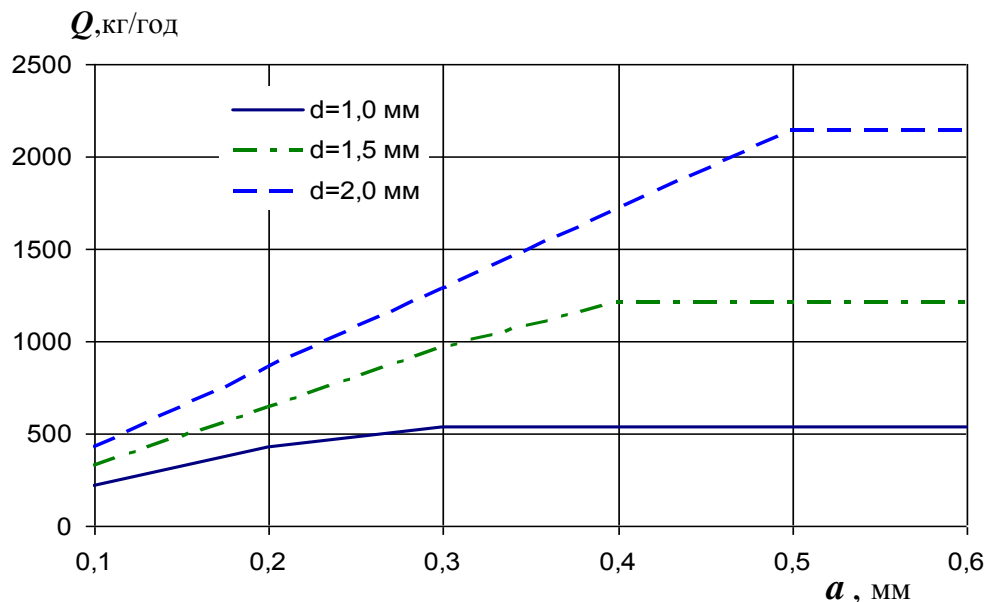


Рис. 4. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок.

Одночасно зі зменшенням продуктивності змішувача при зближенні форсунок до відстані, що менше за половину діаметра сопла, змінюється швидкість струменя у момент зіткнення. При $a > d_c / 2$ швидкість струменя перед зіткненням v_1 (приймали рівною швидкості струменя при виході з форсунки) (рис. 5, а). При $a < d_c / 2$ швидкість потоку молока до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску (рис. 5, б) $v_3 < v_1$.

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку:

$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3, \text{ тобто } \frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \text{ І при умові } a < d_c / 2 \text{ отримаємо}$$

нерівність $v_3 < v_1$. Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку $\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3$, тобто $\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}$. Швидкість струменя перед зіткненням при $a < d_c / 2$ можна розрахувати як $v_3 = v_1 \frac{2a}{d_c}$.

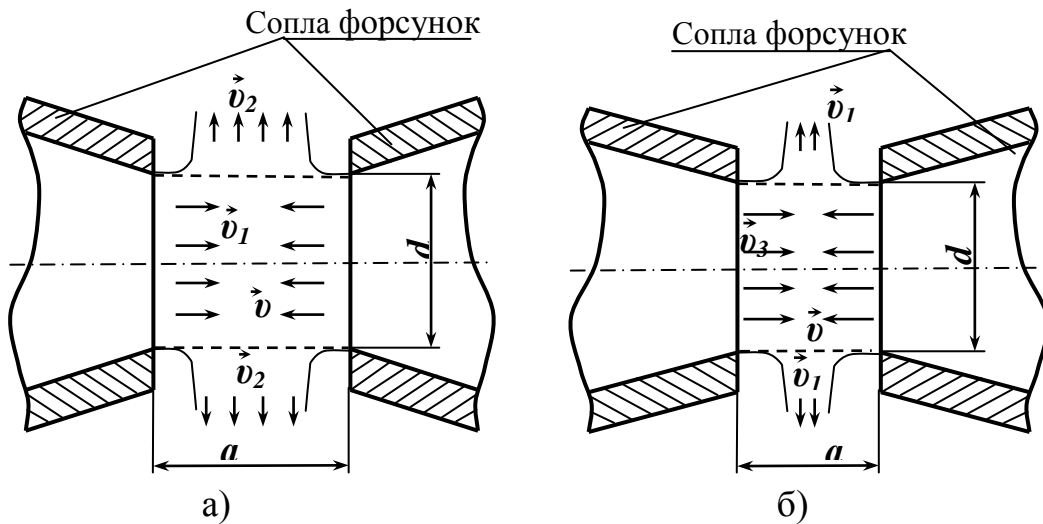


Рис. 5. Схема зіткнення струменів а) при $a > d/2$ і б) при $a < d/2$.

Завдяки моделюванню процесу змішування у програмному комплексі ANSYS було створено поле швидкостей у камері змішування при постійному значенні тиску подачі 0,2 МПа, щільності рідини 1035 кг/м³ (рис. 6).

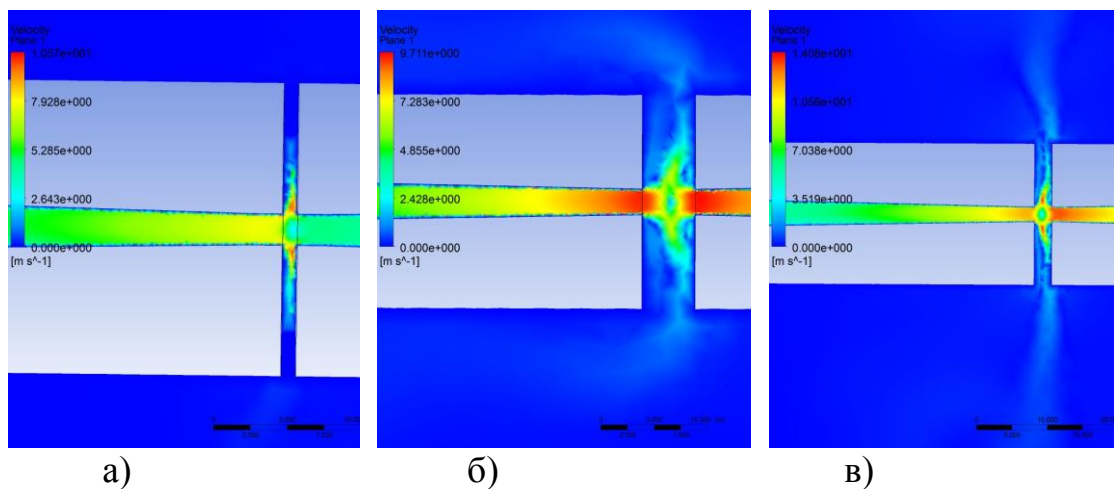


Рис. 6. Поле швидкостей: а) при відстані між форсунками $a = 0,5d_c$; б) при відстані між форсунками $a = d_c$; в) при відстані між форсунками $a = 2d_c$.

При відстані між форсунками $a=0,5d_c$ найбільшу швидкість потік рідини має після зіткнення струменів, яка у 1,3...1,5 разів більше за швидкість при виході рідини з форсунки. Максимальна швидкість у даному випадку сягає значення 10 м/с. При відстані між форсунками $a=d_c$ максимальна швидкість однакова в зоні виходу рідини з форсунки і в зоні між торцевими поверхнями форсунок і сягає значення 14 м/с. При відстані між форсунками $a=2d_c$ максимальну швидкість потік рідини має у зоні виходу з форсунки. Швидкість потоку в зоні між торцевими поверхнями форсунок є у 1,7...1,9 разів меншою за швидкість при виході рідини із форсунки і сягає значення 9,5 м/с.

З умови отримання високого ступеня змішування рідини швидкість у момент зіткнення повинна бути максимальною. Тому максимальна якість змішування досягається при $a=d_c$.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що оптимальна відстань між соплами форсунок протитечійно-струминного змішувача з умови отримання найбільшої продуктивності і найвищого ступеня перемішування (при постійному значенні надлишкового тиску) залежить від діаметра сопел форсунок і повинна дорівнювати діаметру сопла форсунки.

У подальшому планується перевірити результати теоретичних досліджень експериментальними дослідженнями і розробити лабораторний пристрій для дослідження струминного змішування та провести експериментальні дослідження.

Література

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Учебное пособие для вузов. Т. VI. Гидродинамика / Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001 г. 731 страница
2. Мелешко В.В. Смешивание вязких жидкостей/ В.В.Мелешко, Т.С. Краснопольская// Нелинейная динамика. – 2005. – Т.1. – С. 69-109.
3. Чаусов Ф.Ф. Отечественные статические смесители для непрерывного смешения жидкостей/ Ф.Ф.Чаусов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2009. № 3. с. 11 - 14.
4. Самойчук К.О., Полудненко О.В. «Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования»// Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей. – Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного у-та, 2013 – 140с. ст. 86 – 92.
5. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй / Г. Н. Абрамович . – М.: Физматгиз, 1960. – 715с.

6. *Биркгоф Г.* Струи, следы и каверны / Г. Биркгоф, Э. Саратонелло. – М.: Мир, 1964. – 395 с.
7. *Гуревич М.И.* Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич – [2-е изд.]. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 536 с.
8. *Эльперин И.Т.* Процессы переноса во встречных струях / Эльперин И.Т., Мельцер В.Л., Павловский Л.Л., Енякин Ю.П. – Минск: Наука и техника, 1972. – 216 с.
9. Справочник по гидравлике / [В.А. Большаков, Ю.М. Константинов, В.Н. Попов и др.] ; под ред. В.А.Большакова, – [2-е изд.]. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1984. – 343 с.
10. *Самойчук К.О.* Обґрунтування параметрів та режимів роботи протитечійно-струменевого гомогенізатора молока [Текст] : автореферат... канд. техн. наук, спец.: 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв / К.О.Самойчук. – Донецьк : МОН Укр. Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, 2008. — 20 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СОПЛАМИ ФОРСУНОК ПРОТИВОТОЧНО-СТРУЙНОГО СМЕСИТЕЛЯ БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ

Самойчук К.О., Полудненко О. В., Цыб В.Г., Бездетный А.О.

Аннотация - в статье приведены результаты аналитических исследований определения оптимального расстояния между соплами форсунок противоточно-струйного смесителя и представлены результаты компьютерного моделирования процесса смешивания жидких компонентов в струйном смесителе.

DETERMINATION OF DISTANCE BETWEEN SPRAYERS NOZZLES OF COUNTERFLOW MIXER OF SOFT DRINKS

Samoychuk K., Poludnenko O., Tsyb V, Bezdetniy A.

In the article results of analytical researches of determination of optimal distance between sprayers nozzles of counterflow mixer and the results of computer design of process of mixing of liquid components in a stream mixer are presented.