

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 663.058.4

DOI: 10.31388/2078-0877-19-2-3-11

**ВПЛИВ ВІДСТАНИ МІЖ СОПЛАМИ ФОРСУНОК НА
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННОГО
ЗМІШУВАЧА НАПОЇВ**

Самойчук К. О., д. т. н.,

Ялпачик В. Ф., д. т. н.,

В'юник О. В., асистент*

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Тел. (06192) 42-13-06

Анотація – у статті наведено результати аналітичних і експериментальних досліджень. Представлена аналітично визначена залежність відстані між соплами форсунок від діаметру сопла за умови отримання найвищої продуктивності змішувача. Представлено загальний вид пристрою для експериментальних досліджень процесу змішування рідин. За результатами аналітичних і експериментальних досліджень побудовано залежності продуктивності змішувача від відстані між соплами форсунок при різних значеннях тиску подачі рідини.

Ключові слова – змішування, експеримент, рідина, відстань між соплами форсунок, продуктивність.

Постановка проблеми. Технологічне призначення перемішування рідин різноманітне. Цей процес застосовують у харчовій промисловості для інтенсифікації хімічних, теплових і масообмінних процесів, а також для приготування емульсій, суспензій та розчинів. При виготовленні безалкогольних напоїв одним з основних процесів є перемішування купажного сиропу або концентрату з підготовленою водою, тобто перемішування рідких компонентів.

Сьогодні безалкогольні напої користуються дуже великим попитом, тому розробка і впровадження у виробництво змішувачів, які забезпечать якісне перемішування рідин при мінімальних витратах енергії і часу є актуальним. Змішувачі повинні бути економічними, надійними, простими у виготовленні та обслуговуванні, мати прості схеми включення в різні установки.

В результаті аналізу різних способів перемішування рідин

© Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., В'юник О. В.

* Науковий керівник – д. т. н., доц. Самойчук К. О.

протитечійно-струминне змішування було виділене як найбільш перспективне [1].

Дослідження струминного змішування рідин складний процес, зокрема проблематичним є аналітичне визначення впливу відстані між соплами форсунок на витрату рідини, а значить на продуктивність змішувача. Також визначення впливу відстані між соплами форсунок є важливим для знаходження швидкості струменів у момент зіткнення, адже саме швидкість струменів визначає якість змішування.

Побудова аналітичної моделі протитечійно-струминного змішувача рідин не можлива без визначення впливу відстані між форсунками на витрату рідини при незмінному тиску на вході форсунки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ця робота є складовою частиною циклу статей, присвячених струминному змішуванню рідких компонентів. В попередніх статтях було обґрунтовано спосіб перемішування [2], конструкція змішуючого апарату [3], метод оцінювання якості перемішування [4]. Експериментально досліджено вплив основних технологічних і конструктивних параметрів змішувача на забезпечення необхідного вмісту підмішуваного компонента в готовому розчині [5]

В проаналізованій роботі [6] представлені емпіричні дані із визначення швидкостей струменів води (що витікають у повітря) для форсунок з діаметром сопел (d_c) 4,5...5 мм.

Для зустрічних струменів при діаметрі сопел форсунок 1мм, малих відстанях ($0,5 - 1d_c$) експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність [7].

У відомій нам літературі немає даних із безпосередньої зміни середньої швидкості рідини у зустрічних струменях з поперечним розміром у декілька міліметрів при відстані між соплами від d_c і більше. Ці дані є дуже важливими, адже від швидкості струменів у момент зіткнення залежить якість перемішування компонентів, а також продуктивність змішувача.

Формулювання мети статті. Висунута гіпотеза, що при надмірному зближенні форсунок, зовнішній тиск струменя рідини, що виходить з форсунки, буде більшим за атмосферний, що призведе до зменшення надлишкового тиску, і, як наслідок, зменшення ступеня перемішування. Водночас зменшиться і продуктивність змішувача. При збільшенні відстані між соплами форсунок буде зменшуватись швидкість струменів у момент зіткнення, що також зменшить якість змішування рідин. Таким чином задачею даної роботи є аналітичне й експериментальне визначення залежності витрати рідини від відстані між соплами форсунок, що є необхідним для побудови аналітичної моделі протитечійно-струминного змішувача рідин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Технологія виготовлення безалкогольних напоїв є комплексом конкретних операцій, які здійснюються в певній послідовності. Очищена і помя'кшена вода надходить в збірник. Звідти, за допомогою насоса, вона подається на мембранний фільтр і направляється в холодильник, насичується діоксидом вуглецю та змішується з купажним сиропом чи концентратом.

Визначимо мінімальну відстань між соплами форсунок a_{min} з 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. 1 відмічена штрихпунктирною лінією) була більше за площу отворів форсунок, тобто

$$S_2 > 2 \frac{\pi d_c^2}{4}. \quad (1)$$

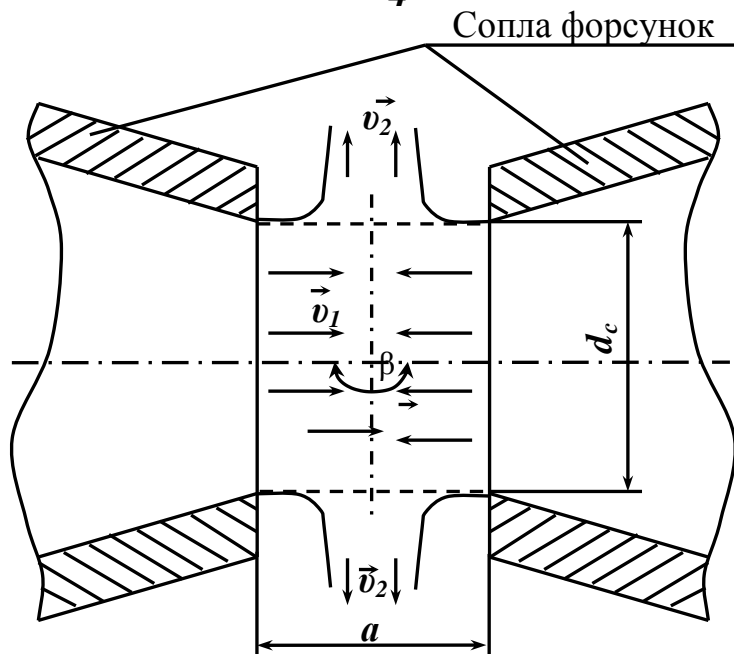


Рис. 1. Схема визначення мінімальної відстані між соплами форсунок за умови отримання найбільшої продуктивності протитечійно-струминного змішувача.

Враховуючи, що $S_2 = \pi d_c a$, після перетворень отримаємо

$$a > \frac{d_c}{2}, \quad (2)$$

тобто

$$a_{min} = 0,5 d_c. \quad (3)$$

Звідки при $a \geq d_c / 2$ продуктивність протитечійно-струминного змішувача визначається за формулою:

$$Q = \mu \pi d_c^2 \sqrt{\frac{\rho_m}{2} \cdot \Delta p}, \quad (4)$$

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

d_c - діаметр сопел форсунок, мм;

ρ_m - густина рідини, кг/м³;

Δp - надлишковий тиск у форсунках, Па,

а при $a < d_c / 2$

$$Q = \mu \pi d_c a \sqrt{2 \rho_m \cdot \Delta p}. \quad (5)$$

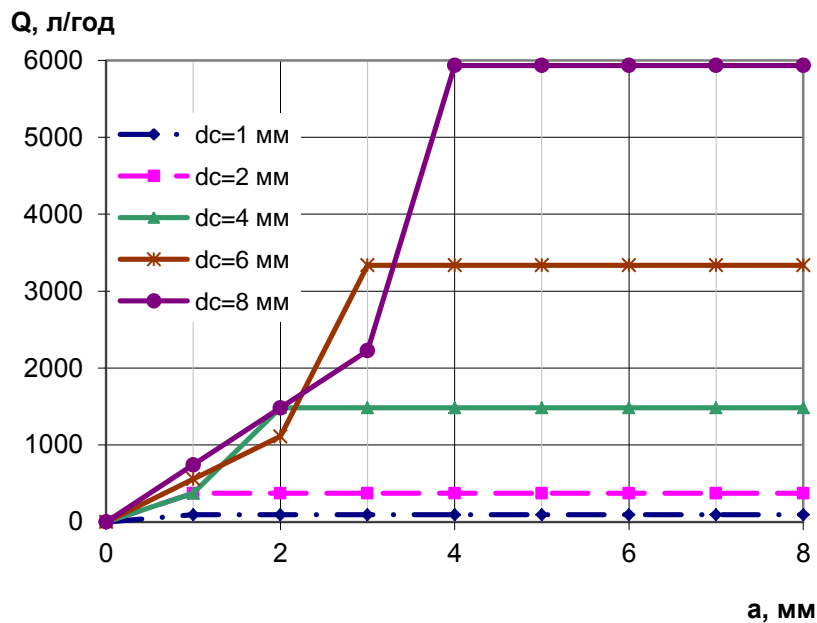


Рис. 2. Залежність продуктивності від відстані між соплами форсунок.

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). При $a < d_c / 2$ швидкість потоку рідини до зіткнення v_3 буде менше за v_1 при незмінному значенні надлишкового тиску.

$$v_3 < v_1 \quad (6)$$

Остання нерівність витікає з умови нерозривності потоку

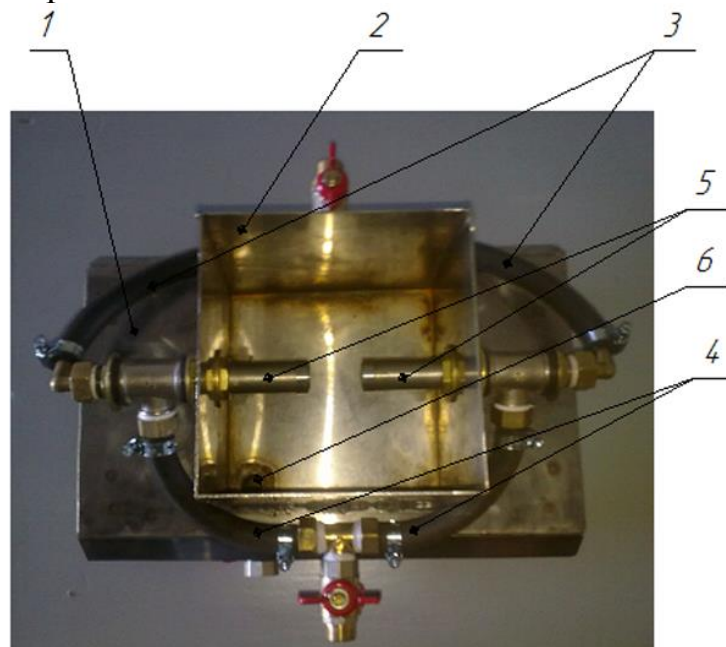
$$\pi d_c a v_1 = 2 \frac{\pi d_c^2}{4} v_3. \quad (7)$$

Після перетворень:

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{d_c}{2a}. \quad (8)$$

При умові $a < d_c / 2$ отримаємо нерівність (6), з чого витікає зменшення якості змішування, адже саме швидкість зіткнення струменів визначає ефективність перемішування компонентів.

Для проведення експериментальних досліджень процесу змішування води з концентратом на основі підсолондзювачів було розроблено і виготовлено експериментальний пристрій, конструктивні особливості якого захищені патентом України на корисну модель [8]. Загальний вид пристрою показано на рисунку 4. На станині 1, встановлено камеру змішування 2, в якій співвісно встановлені дві ідентичні форсунки 5, через патрубки подачі основного компонента 3 у форсунки 5 під тиском подається підготовлена вода, через патрубки подачі підмішуваного компонента 4 подається концентрат при атмосферному тиску подачі. Змішаний продукт через вихідний отвір 6 відводиться у збірник.



1 – станина; 2 – камера змішування; 3 – патрубки подачі основного компонента; 4 – патрубки подачі підмішуваного компонента; 5 – форсунка; 6 – вихідний отвір.

Рис. 3. Лабораторний пристрій для дослідження процесу змішування.

Методика проведення експериментальних досліджень детально описана у попередній роботі [9]. Діаметр сопел форсунок 8 мм. Відстань між соплами форсунок змінювали осьовим переміщенням форсунок в напрямних втулках. Тиск подачі води змінювали за допомогою вихрового насосу (виробник KENLE, $H_{\max}=50\text{м}$, $Q_{\max}=50\text{л/хв}$), контроль тиску подачі води в змішувач здійснювали за допомогою манометру (виробник CONTROLPROCESS, межі вимірювання – до 6 атм). Час проведення кожного дослідження визначали

за секундоміром. Об'єм змішаного продукту визначали за допомогою мірних ємностей (2 класу точності ISO 1042-83).

Результати експериментальних досліджень представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень впливу відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача.

| Відстань між соплами форсунок, a , мм | Продуктивність змішувача, Q , л/год | | |
|---|---------------------------------------|-------------|-------------|
| | $P=1,2$ атм | $P=1,5$ атм | $P=1,8$ атм |
| 8 | 300 | 321.54 | 337.29 |
| 16 | 300 | 322.14 | 340.02 |
| 24 | 300 | 323.01 | 340.83 |
| 32 | 300 | 324.69 | 342.96 |
| 40 | 300 | 325.20 | 344.13 |
| 48 | 300 | 325.20 | 344.55 |
| 56 | 300 | 325.20 | 344.55 |

За отриманими даними побудовані залежності продуктивності змішувача при різних значеннях тиску рідини на вході у форсунку (рис. 4).

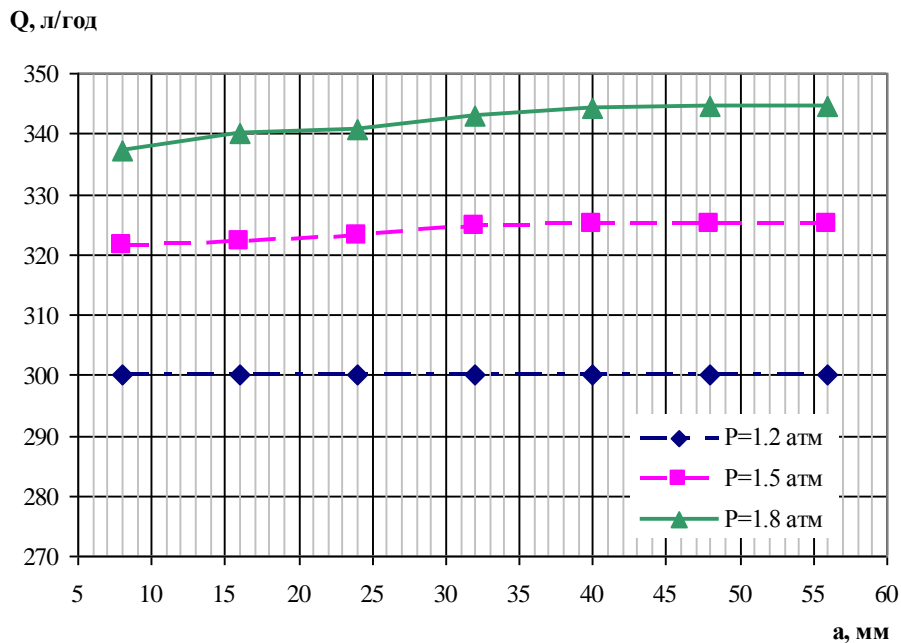


Рис. 4. Залежність продуктивності протитечійно-струминного змішувача від відстані між соплами форсунок.

Аналізуючи отримані залежності можна сказати, що при тиску подачі рідини на вході у форсунку $P=1,2$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=5d_c$ об'єм змішаного продукту не змінюється.

Із збільшенням тиску подачі рідини на вході у форсунку залежності набувають іншого характеру. При тиску $P=1,5$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=4d_c$ об'єм змішаного продукту збільшується майже прямолінійно. При подальшому збільшенні відстані до $7d_c$ об'єм продукту лишається незмінним.

При тиску $P=1,8$ атм із збільшенням відстані між соплами форсунок від $a=d_c$ до $a=6d_c$ об'єм змішаного продукту збільшується. При подальшому збільшенні відстані до $7d_c$ об'єм продукту лишається незмінним.

За отриманими залежностями можна відзначити, що із зменшенням відстані між форсунками від 48 мм (що дорівнює шістьом діаметрам сопла форсунки $a=6d_c$) до 8 мм (тобто $a=d_c$) продуктивність змішувача зменшується. Це відбувається в наслідок того, що на струмінь рідини, яка витікає із сопла форсунки, діє зустрічний струмінь. Тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, призводить до зменшення величини перепаду тиску всередині та зовні форсунки Δp , що в свою чергу призводить до зменшення швидкості витікання рідини з форсунки.

Висновки і перспективи подальших досліджень. В результаті аналітичних досліджень отримана залежність, яка дозволяє визначити мінімальне значення відстані між соплами форсунок для отримання найвищої продуктивності змішувача: $a_{min} = 0,5d_c$.

Експериментально визначено вплив відстані між соплами форсунок на продуктивність протитечійно-струминного змішувача. Із збільшенням відстані продуктивність збільшується. Це відбувається тому, що тиск, який виникає у зоні зіткнення струменів, зменшується, а отже збільшується перепад тиску Δp на вході та виході з форсунки. Збільшення перепаду тиску також призводить до підвищення швидкості струменів у момент зіткнення, що, у свою чергу призводить до підвищення якості перемішування компонентів. Отримані результати можуть бути використані при побудові аналітичної моделі протитечійно-струминних змішувачів, гомогенізаторів та інших гідравлічних апаратів.

Література:

1. *Самойчук К. О., Полудненко О. В.* Результати аналізу конструкцій струминних змішувачів рідких компонентів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 1. С. 205-211.

2. *Самойчук К. О., Полудненко О. В.* Аналіз обладнання для перемішування рідких компонентів // Праці Таврійського державного

агротехнологічного університету. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 6. С. 226-233.

3. *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, 2013. С. 86-92.

4. *Циб В. Г., Полудненко О. В.* Аналіз методів оцінювання якості змішування рідких компонентів при виробництві безалкогольних напоїв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2014. Вип. 14, т. 1. С. 7-12.

5. Experimental investigations of sugar concentration for counterflow jet mixing of drinks / *K. Samoichuk end et.* // Technology audit and production reserves. 2017. Т. 2, № 3. С. 41-46.

6. *Котоусов Л. С.* Исследование скорости водяных струй на выходе сопел с различной геометрией // Журнал технической физики. 2005. Т. 75, вып. 9. С. 8-14.

7. *Самойчук К. О.* Вплив відстані між соплами форсунок на параметри протитечійно-струменевого гомогенізатора молока // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь, 2006. Вип. 44. С. 49-53.

8. Пат. 91740 Україна. МКИ⁵ А01J 11/00. Пристрій для струминного змішування рідких компонентів. № u201402154 ; заявл. 03.03.2014; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 13.

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СОПЛАМИ ФОРСУНОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТИВОТОЧНО-СТРУЙНОГО СМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Самойчук К. О., Ялпачик В. Ф., Вьюник О. В.

Аннотация – в статье приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований. Представлена зависимость расстояния между соплами форсунок от диаметра сопла из условия получения наивысшей производительности смесителя, определённая аналитическим методом. Представлен общий вид устройства для экспериментальных исследований процесса смешивания жидкостей. По результатам аналитических и экспериментальных исследований построены зависимости производительности смесителя от расстояния между соплами форсунок при разных значениях давления подачи жидкости.

THE INFLUENCE OF THE DISTANCE BETWEEN NOZZLE'S ORIFICES ON THE OF THE CHARACTERISTICS COUNTER-JET MIXER

K. Samoichuk, V. Yalpachyk, O. Viunyk

Summary

Today, the soft drinks are in great demand. At their manufacture one of the main processes is mixing of the blended syrup or concentrate with prepared water, namely mixing liquids. Therefore, the development and introduction into production of mixers, which will provide high-quality mixing at a minimum consumption of energy and time is relevant. As a result of analysis of different methods of mixing fluids counter-jet mixing was highlighted as the most promising. The article is devoted to the analytical and experimental determination of the dependence on the performance of the mixer from the distance between nozzle's orifice, which is necessary for the creation of an analytical model of counter-jet mixer of liquids. Analytical studies were carried out based on the classical hydrodynamic's dependencies. For conducting experimental research of the process counter-jet mixing were designed and manufactured an experimental device, which is a pair of coaxially installed jet ejectors which provides a collision of fluid jets. In the jet ejectors the liquid and the mixing component are mixing in a certain ratio. As a result of analytical studies, a dependence is obtained that allows to determine the minimum value of the distance between nozzle's orifices, to receive highest mixer performance. The dependencies of the mixer's performance from the distance between for diameters 1-8 mm was constructed. The influence of the distance between nozzle's orifices on the performance of the counter-jet mixer is determined experimentally. With increasing distance performance increases. This is because of the pressure that occurs in the area of the collision of the jets decreases, and consequently increases the differential pressure at the inlet and outlet nozzle. An increase in the pressure drop also leads to an increase of the speed of jets at the moment of the collision, which in turn leads to improving the quality of mixing components. The obtained results can be used in constructing an analytical one models of counter-current-jet mixers, homogenizers and others hydraulic machines.