



УДК 631.563.4

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-16

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ РІДИН У ПРОТИТЕЧІЙНО-СТРУМИННОМУ ЗМІШУВАЧІ

В'юник О. В., інженер,

Паніна В. В., к.т.н.,

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

E-mail: olga.viunyk@tsatu.edu.ua

Тел.: +38(098)-724-09-67

**Анотація** – В наш час гостро стоїть питання розробки і впровадження енергозберігаючих технологій в агропромислове виробництво. Процес перемішування рідких компонентів є широко розповсюдженим технологічним процесом у різних галузях виробництва і переробки продукції агропромислового комплексу, тому актуальним є розробка і впровадження перемішувачів, які забезпечать якісне перемішування при низьких енерговитратах. Струминні змішувачі мають значні переваги перед змішувачами з мішалками. Серед значної кількості видів і конструктивних схем струминних змішувачів, завдяки високій якості перемішування, виділяються протитечійно-струминні апарати, процес змішування в яких розроблений недостатньо. У даній роботі представлено конструкцію розробленого протитечійно-струминного змішувача та експериментальної установки, описано принцип їх дії. Експериментальні дослідження процесу змішування рідких компонентів проводилось на прикладі змішування води і концентрату на основі підсолоджувачів (аспартаму і сахарину) для виготовлення солодкого безалкогольного напою «Лимонад». В результаті експериментальних досліджень впливу основних технологічних і конструктивних параметрів протитечійно-струминного змішувача на забезпечення необхідного вмісту концентрату в готовому розчині отримали: при відстані між соплами форсунок 24 мм, тиску подачі води 0,12...0,22 МПа, напорі концентрату 0,1...0,3 м, величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,9 мм отримали кислотність розчину 3,08–3,46 см<sup>3</sup>що є позитивним результатом. Дослідження якості перемішування рідин при даних умовах показали, що найвищу однорідність концентрації підмішуваного компоненту можна отримати при тиску подачі води 2,2 атм і напорі подачі концентрату 100 мм ( $\sigma = 0,25$ ), а найнижчу при тиску подачі води 1,7 атм і напорі подачі концентрату 300 мм, ( $\sigma = 0,49$ ). Аналіз результатів підтверджує аналітично отриманий висновок про підвищення однорідності змішування при підвищенні швидкості зіткнення струменів, що відбувається при збільшенні подачі через вихідні сопла апарату та при підвищенні тиску води на вході в змішувач.

**Ключові слова** – рідина, змішування, протитечійно-струминний змішувач, концентрація, однорідність.

**Постановка проблеми.** В наш час гостро стоїть питання розробки і впровадження енергозберігаючих технологій в



агропромислове виробництво. Процес перемішування рідких компонентів є широко розповсюдженим технологічним процесом у різних галузях виробництва і переробки продукції агропромислового комплексу, тому актуальним є розробка і впровадження перемішувачів, які забезпечать якісне перемішування при низьких енерговитратах. Вже давно струминні змішувачі стали альтернативою змішувачам з мішалками. Значні переваги таких змішувачів полягають у відсутності рухомих частин, а отже підвищеній надійності і значно менших витратах на технічне обслуговування та стерилізацію, що дуже важливо для біохімічних і харчових виробництв, і простоті включення в технологічні схеми. Ще однією важливою перевагою струминних змішувачів є безперервний принцип дії: час на отримання аналогічної якості перемішування в струминних апаратах є набагато меншим ніж в апаратах з механічними мішалками. Для різних конструкцій струминних змішувачів проведені експериментальні дослідження і визначено велику кількість залежностей, але ці залежності не є універсальними і не можуть бути використаними для будь-якого струминного змішувача.

На сьогоднішній день найбільш дослідженим є процес струминного перемішування в резервуарі [1-2]. Стосовно виготовлення солодких безалкогольних напоїв змішування в резервуарі має ряд недоліків. Таке змішування має періодичний характер. Інтенсивне перемішування компонентів відбувається тільки в одній зоні, близькій до сопла змішувача. У всіх інших зонах змішування відбувається із значно меншою інтенсивністю. Для забезпечення однорідності суміші (концентрації розчину) у всьому резервуарі необхідне багаторазове проходження рідини через зону інтенсивного змішування. Це призводить до небажаних витрат енергії і часу на перемішування.

Серед значної кількості видів і конструктивних схем струминних змішувачів [3-6], завдяки високій якості перемішування, виділяються протитечійно-струминні апарати, процес змішування в яких розроблений недостатньо.

Ця робота є складовою частиною циклу статей, присвячених струминному змішуванню рідких компонентів. В попередніх роботах було обґрунтовано спосіб перемішування [7]. Представлено конструкцію змішувача, конструктивні особливості якого захищені патентом України на корисну модель [8]. Визначено метод оцінювання якості перемішування [9]. В програмному комплексі ANSYS Workbench проведено моделювання процесу змішування рідин в розробленому змішувачі і теоретично визначено відстань між



соплами форсунок (один з найважливіших конструктивних параметрів) [10].

Але визначити взаємозв'язок таких параметрів, як відстань між соплами форсунок, величина кільцевого зазору камери ежекції, тиск подачі основного компонента та напір подачі підмішуваного компонента можливо лише в процесі експериментальних досліджень. Саме результатам експериментальних досліджень впливу основних технологічних і конструктивних параметрів протитечійно-струминного змішувача на забезпечення необхідної концентрації підмішуваного компонента в готовому розчині і присвячена дана стаття.

*Методика.* В результаті раніше проведених аналітичних досліджень існуючих струминних змішувачів [7] було розроблено конструкцію протитечійно-струминного змішувача [8]. Схему розробленої конструкції змішувача представлено на рис. 1.

Змішувач являє собою два струминні апарати, розташовані співвісно один до одного (рис. 1). Вихідні циліндричні сопла цих апаратів формують зустрічні струмені рідини, які після зіткнення утворюють характерне, візуально симетричне «віяло», яке має назву пелена [18]. Співвісні струминні апарати розташовані у камері 7, де збирається рідина і відводиться зі змішувача.

Кожний струминний апарат складається з робочого патрубка 6 та камери змішування 3. Основний компонент (вода) подається у робочий патрубок кожного струминного апарату, робоче сопло 1 яких формує струмені води. Підмішуваний компонент (концентрат) подається з камер подачі (5) у зазор приймальної камери 2. Швидкісні потоки основного компонента на вході камери змішування захоплюють підмішуваний компонент. В камері змішування відбувається вирівнювання швидкостей основного та підмішуваного компонентів. На виході з сопел камер змішування 4 відбувається зіткнення струменів змішаних компонентів.

Змішування починається з вхідної ділянки камери змішування і відбувається безперервно до виходу суміші зі змішувача. Найбільш інтенсивно цей процес протікає при захопленні підмішуваного компонента основним. А також при формуванні потоку в камері змішування (зона А) та при русі у камері змішування (зона Б). У цих зонах відбувається змішування основного та підмішуваного компонентів, які подаються в один струминний апарат. При зіткненні потоків (зона В), змішуванні у пелені (зона Г) і зборі рідини та відведенні з камери збору (зона Д) відбувається змішування потоків компонентів правого та лівого струминних апаратів.

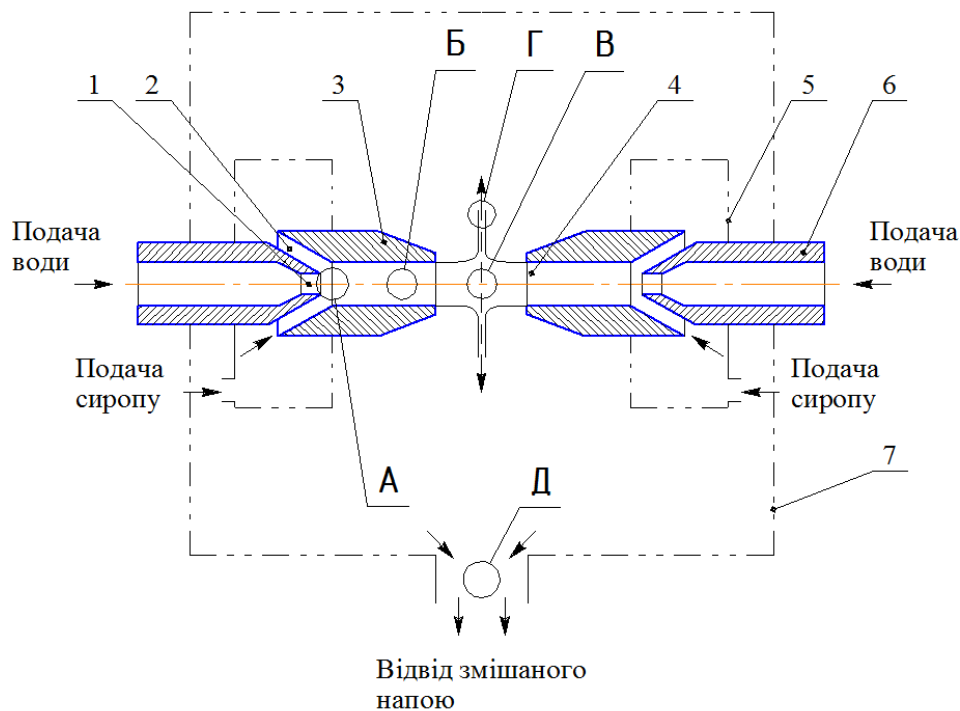


Рис. 1. Схема протитечійно-струминного змішувача рідин: 1 – робоче сопло; 2 – приймальна камера; 3 – камера змішування; 4 – сопло камери змішування; 5 – камера подачі підмішуваного компонента; 6 – робочий патрубок; 7 – камера збору рідини. А, Б, В, Г, Д – зони змішування

Головним чинником змішування в зонах А і Б є турбулентність і турбулентні пульсації рідин основного та підмішаного компонентів. У зонах В, Г і Д змішування відбувається за рахунок взаємопроникнення потоків, струменів і шарів компонентів.

Дослідження процесу змішування рідких компонентів проводилось на прикладі змішування води і концентрату на основі підсолоджувачів (аспартаму і сахарину) для виготовлення солодкого безалкогольного напою «Лимонад».

Для проведення експериментальних досліджень процесу змішування води з купажем сиропом було розроблено і виготовлено експериментальну установку. Загальний вид експериментальної установки представлений на рис. 2.

На рис. 2 вихровий насос 1 створює необхідний тиск подачі основного компонента. Контроль тиску здійснюється за допомогою манометру 2. По каналу підводу основного компонента 3 вода надходить у протитечійно-струминний змішувач 6. Підмішуваний компонент потрапляє до змішувача з ємності 4 через канал підведення 5. Після змішування у протитечійно-струминному змішувачі змішаний продукт відводиться через канал 7.

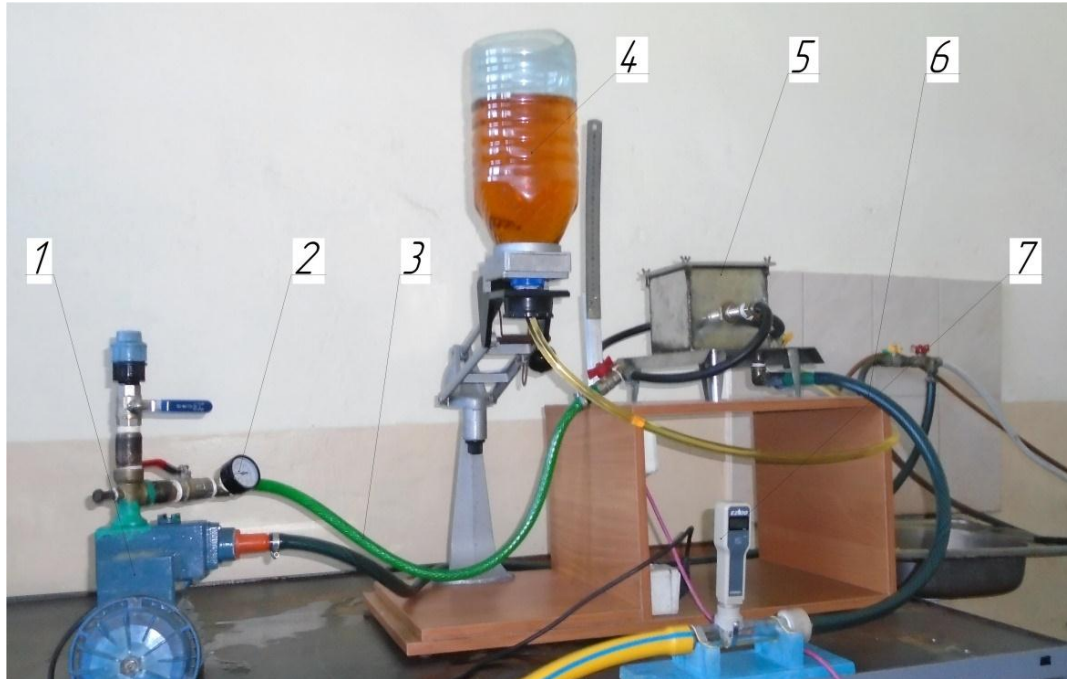


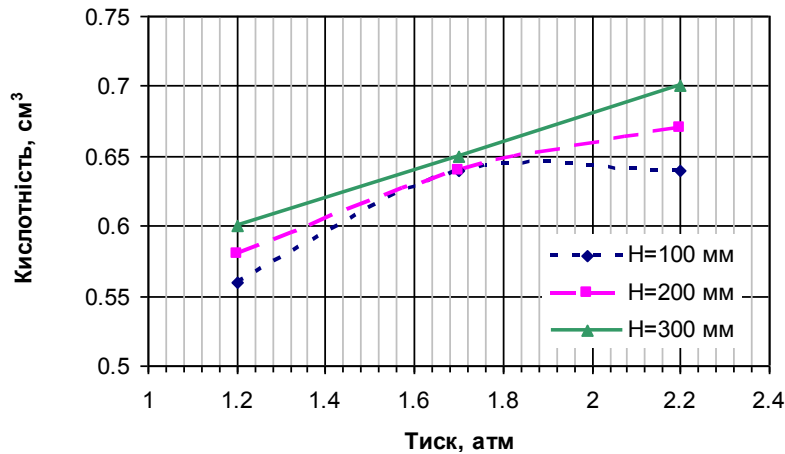
Рис. 2. Експериментальна установка: 1 – вихровий насос; 2 – манометр; 3 – канал подачі основного компонента (води); 4 – ємність з підмішуванням компонента (сиропом); 5 – канал підведення підмішуваного компонента; 6 – протитечійно-струминний змішувач; 7 – канал відведення змішаного продукту; 8 – кондуктометр.

Методика проведення експериментальних досліджень докладно представлена у попередній роботі даного циклу [11]. Вміст концентрату в змішаному розчині визначався за кислотністю змішаного продукту. Кислотність отриманого розчину визначали методом титрування 0,1 н. розчином гідроксиду натрію. Контроль якості перемішування здійснювався за допомогою кондуктометра COND5021 (діапазон 0 – 9990 мкСм, точність  $\pm 1\%$  FS).

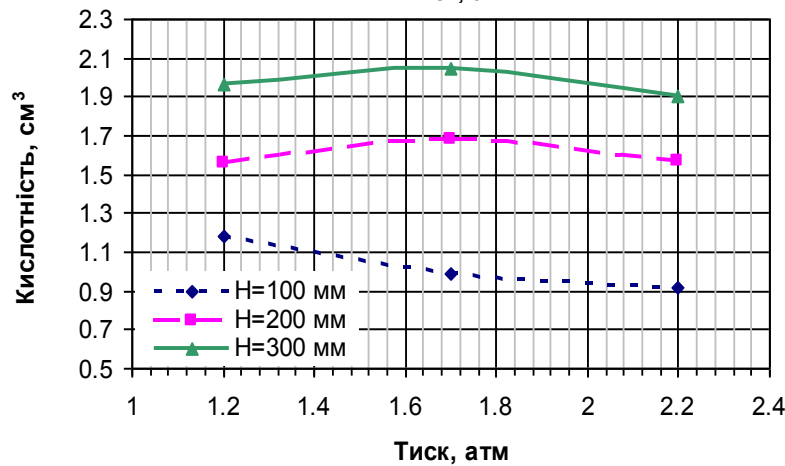
*Результати і обговорення.* Результати проведених експериментальних досліджень наведені на рис. 3–4.

При відстані між форсунками 24 мм тиску подачі води 0,12...0,22 МПа, напорі концентрату 0,1...0,3 м, величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,6...0,9 мм отримали такі залежності (рис. 3).

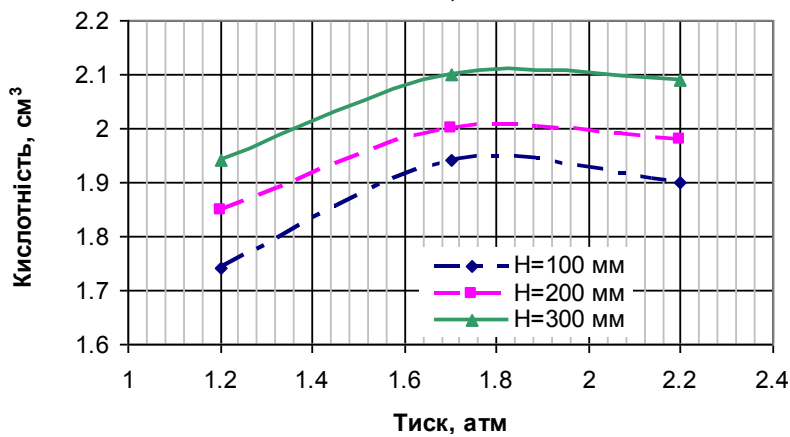
Аналіз отриманих залежностей показує, що збільшення кільцевого зазору призводить не тільки до збільшення концентрації підмішуваного компонента в готовому розчині, але і до зміни характеру залежностей.



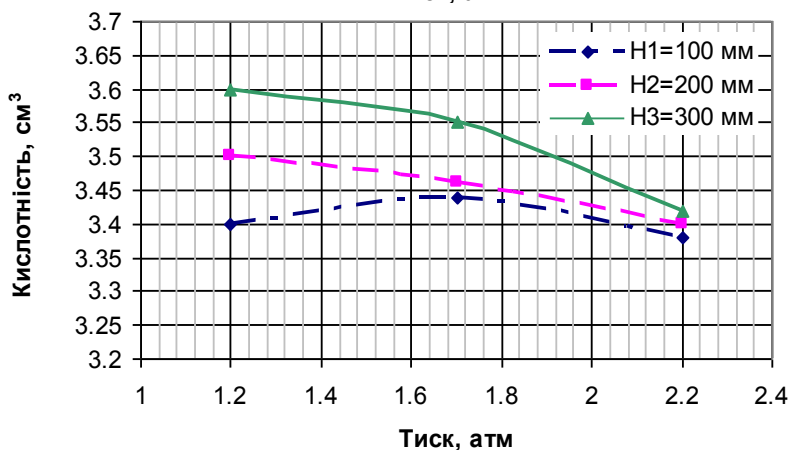
а – при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,6 мм



б – при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,7 мм



в – при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,8 мм



г – при величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,9 мм

Рис. 3. Залежності кислотності розчину від тиску подачі концентрату.





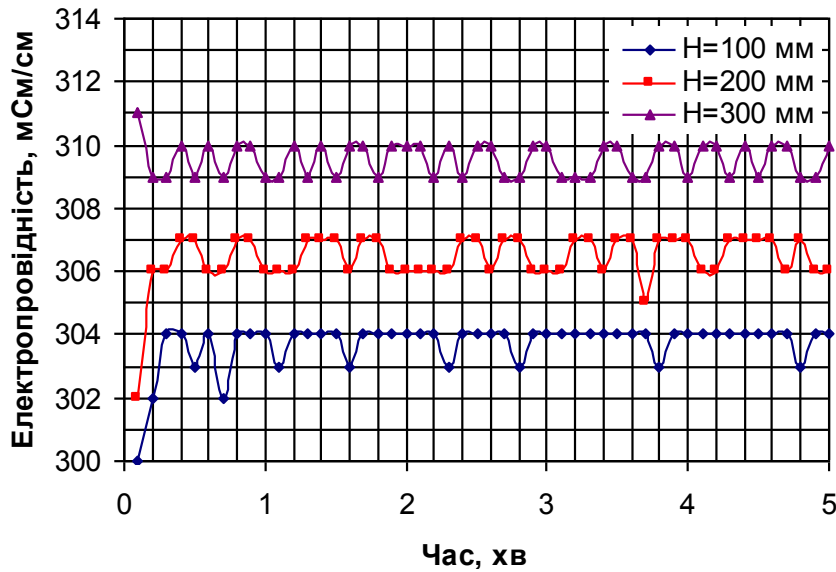
При кільцевому зазорі 0,6 мм (рис. 3а) характер залежностей кислотності готового розчину (а значить і концентрації підмішуваного компоненту) має майже прямолінійний характер. При напорі подачі підмішуваного компоненту 200...300 мм з підвищенням тиску подачі води та збільшенням напору подачі концентрату кислотність розчину зростає. При напорі подачі підмішуваного компоненту 100 мм з підвищенням тиску подачі води кислотність спочатку зростає, а з подальшим підвищенням тиску кислотність дещо зменшується. Це відбувається внаслідок збільшення подачі води у більшому ступені ніж підвищення подачі концентрату, що призводить до зменшення його частки в готовому розчині.

При кільцевому зазорі 0,7...0,9 мм (рис 3б...г) залежність між кислотністю отриманого розчину і тиском подачі води параболічна. Це пояснюється збільшенням сумарної витрати концентрату та води на виході з форсунок, що підвищує швидкість вихідного потоку і гідродинамічний тиск на зустрічний струмінь рідини.

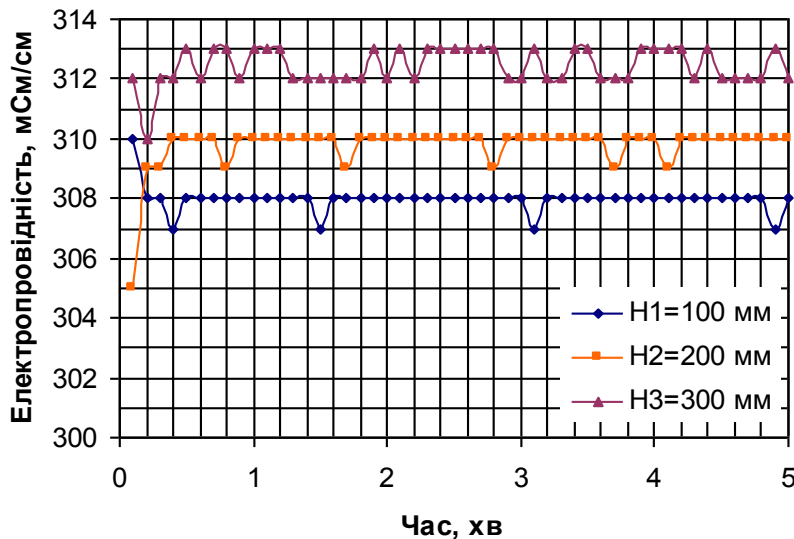
При кільцевому зазорі в камері ежекції 0,9 мм (рис. 3г) з підвищенням тиску подачі води кислотність готового розчину зменшується, це відбувається тому, що зазор у камері ежекції є достатньо великим. Два співвісних струменя, що витікають з форсунок, стикаються. Це призводить до підвищення тиску у зоні зіткнення. Відтак перепад тисків  $\Delta p$  зменшується, відповідно зменшується коефіцієнт інжекції.

При відстані між соплами форсунок 24 мм, тиску подачі води 0,12...0,22 МПа, напорі концентрату 0,1...0,3 м, величині кільцевого зазору в камері ежекції 0,9 мм отримали кислотність розчину 3,08...3,46 см<sup>3</sup>що є позитивним результатом, так як за технологічною інструкцією виготовлення безалкогольного напою «Лимонад» кислотність напою повинна становити  $3,5 \pm 0,5$  см<sup>3</sup>.

Для оцінки якості перемішування було визначено середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  значень електропровідності отриманого розчину при різних технологічних параметрах процесу змішування. Результати дослідження якості перемішування рідин при даних умовах наведені на рис. 4. Проведемо аналіз отриманих залежностей. При тиску подачі води 1,7 атм отримали такі результати середньоквадратичного відхилення значень миттєвої концентрації продукту (рис.4а): при напорі подачі концентрату 100мм  $\sigma_1 = 0,34$ ; при напорі подачі концентрату 200 мм  $\sigma_2 = 0,47$ ; при напорі подачі концентрату 300 мм,  $\sigma_3 = 0,49$ . При тиску подачі води 2,2 атм отримали такі результати середньоквадратичного відхилення значень миттєвої концентрації продукту (рис. 4б): при напорі подачі концентрату 100мм  $\sigma_1=0,25$ ; при напорі подачі концентрату 200 мм  $\sigma_2 = 0,32$ ; при напорі подачі концентрату 300 мм,  $\sigma_3 = 0,46$ .



а – при тиску подачі води 0,17 МПа



б – при тиску подачі води 0,22 МПа

Рис. 4. Залежність електропровідності розчину від часу.

Найвищу однорідність концентрації підмішуваного компоненту можна отримати при тиску подачі води 2,2 атм і напорі подачі концентрату 100 мм ( $\sigma = 0,25$ ), а найнижчу при тиску подачі води 1,7 атм і напорі подачі концентрату 300 мм, ( $\sigma = 0,49$ ). Аналіз результатів підтверджує аналітично отриманий висновок, про підвищення однорідності змішування при підвищенні швидкості зіткнення струменів, що відбувається при збільшенні подачі через вихідні сопла апарату та при підвищенні тиску води на вході в змішувач.

*Висновки.* В результаті експериментальних досліджень впливу основних технологічних і конструктивних параметрів протитечійно-струминного змішувача на забезпечення необхідного вмісту концентрату в готовому розчині показали, що для виготовлення солодкого напою «Лимонад» із використанням концентрату на основі підсолоджувачів (аспартаму і сахарину), діаметрі сопла форсунки





8 мм оптимальними умовами є: відстань між форсунками 24 мм, напір подачі купаного сиропу 200...300 мм, тиск подачі сиропу 1,7...2,2 атм. При таких умовах забезпечується необхідний вміст концентрату в готовому розчині, а також якість перемішування рідких компонентів, яка відповідає технічним вимогам на виготовлення солодких безалкогольних напоїв.

#### Література

1. Pan, G., Meng, H. (2001). An experimental study of turbulent mixing in a tee mixer using PIV and PLIF. *AIChE Journal*, 47(12), 2653-2665.
2. Daas, M., Srivasta, R., Roeltan, D. (2007). Submerged jet mixing in nuclear waste tanks: a correlation for jet velocity. *WM Symposia*, 41(14), 9.
3. Jacob, J. (2007). Optimization of a hydraulic mixing nozzle. Iowa: State University. 65 p.
4. Espinosa, E. (2011). Design Optimization of Submerged Jet Nozzles for enhanced mixing. 101 p.
5. Пат. 2016641 РФ, МПК В01F5/00. Гидродинамический смеситель / Пятков М. В. (РФ). – № 4786991/26; заявл. 09.11.1989; опубл. 30.07.1994, Бюл. № 27.
6. Пат. 2080164 РФ МПК В01F5/04. Многоконусный струйный аппарат / В. А. Бородин. (РФ). – № 93015447/25; заявл. 24.03.1993; опубл. 27.05.1997, Бюл. № 20
7. Самойчук К. О. Аналіз обладнання для перемішування рідких компонентів / К. О. Самойчук, О. В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2011. – Вип. 11, т. 6. – С. 226–233.
8. Самойчук К. О. Обоснование конструкции смесителя жидких компонентов с помощью компьютерного моделирования / К. О. Самойчук, О. В. Полудненко // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сб. науч. статей по матер. VII Междун. науч.-практ. конф. (20–22 марта 2013 г., г. Ставрополь) / СГАУ. – Ставрополь, 2013. – С. 86-92.
9. Циб В. Г. Аналіз методів оцінювання якості змішування рідких компонентів при виробництві безалкогольних напоїв / В. Г. Циб, О. В. Полудненко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14, т. 1. – С. 7-12.
10. Самойчук К. О. Визначення відстані між соплами форсунок протитечіно-струминного змішувача безалкогольних напоїв / К. О. Самойчук, О. В. Полудненко, В. Г. Циб // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / ТДАТУ. – Мелітополь, 2015. – Вип. 15, т.1. – С. 30-38.



11. Experimental investigations of sugar concentration for counterflow jet mixing of drinks / K. Samoichuk, O. Poludnenko, N. Palyanichka, V. Verkholtantseva, S. Petrychenko // Technology audit and production reserves / Полтав. гос. аграр. академия. – Харьков, 2017. – Т. 2, № 3. – С. 41-46.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТЕЙ В ПРОТИВОТОЧНО-СТРУЙНОМ СМЕСИТЕЛЕ

Вьюник О. В., Панина В. В.

### Аннотация

В настоящее время остро стоит вопрос разработки и внедрения энергосберегающих технологий в агропромышленное производство. Процесс перемешивания жидких компонентов является широко распространенным технологическим процессом в различных отраслях производства и переработки продукции агропромышленного комплекса, поэтому актуальным является разработка и внедрение перемешивающих устройств, которые обеспечат качественное перемешивание при низких энергозатратах. Струйные смесители имеют значительные преимущества перед смесителями с мешалками. Среди множества видов и конструктивных схем струйных смесителей благодаря высокому качеству перемешивания выделяются противоточно-струйные аппараты, процесс смешивания в которых разработан недостаточно. В данной работе представлены конструкция разработанного противоточно-струйного смесителя и экспериментальная установка, описан принцип их действия. Экспериментальные исследования процесса смешивания жидких компонентов проводились на примере смешивания воды и концентрата на основе подсластителей (аспартама и сахарина) для изготовления сладкого безалкогольного напитка «Лимонад». В результате экспериментальных исследований влияния основных технологических и конструктивных параметров противоточно-струйного смесителя на обеспечение необходимого содержания концентрата в готовом растворе получили: при расстоянии между соплами форсунок 24 мм, давления подачи воды 0,12 ... 0,22 МПа, напоре концентрата 0,1 ... 0,3 м, величине кольцевого зазора в камере эжекции 0,9 мм получили кислотность раствора 3,08-3,46 см<sup>3</sup>, что является положительным результатом. Исследование качества перемешивания жидкостей при данных условиях показали, что самую высокую однородность концентрации подмешиваемого компонента можно получить при давлении подачи воды 2,2 атм и напоре подачи концентрата 100 мм ( $\sigma = 0,25$ ), а самую низкую – при давлении подачи воды 1,7 атм и напоре подачи концентрата 300 мм ( $\sigma = 0,49$ ). Анализ результатов подтверждает аналитически полученное заключение о повышении однородности смешивания при повышении скорости столкновения струй, это происходит при увеличении подачи через выходные сопла аппарата и при повышении давления воды на входе в смеситель.



## PERSPECTIVES OF INCREASING THE MACHINE-TRACTOR UNIT PERFORMANCE

O. Viunyk, V. Panina

### Summary

Currently, the development and implementation of energy-saving technologies in agro-industrial production is acute. The process of mixing liquid components is a widespread technological process in various fields of production and processing of agricultural products, therefore the development and implementation of mixing devices that will ensure high-quality mixing at low power consumption is relevant. Blast mixers have significant advantages over faucets with stirrers. Among a large number of types and designs of jet mixers due to the high quality of mixing allocated counter-jet-jet apparatus, the mixing process which is not developed enough. In this paper the design of the developed counter-jet mixer and experimental installation is presented, the principle of their operation is described. Experimental studies of the process of mixing liquid components were carried out on an example of mixing water and concentrate on the basis of sweeteners (aspartame and saccharin) for the preparation of sweet non-alcoholic beverage "Lemonade". As a result of experimental studies of the influence of the main technological and structural parameters of the counter-flow jet mixer on providing the necessary content of the concentrate in the final solution, the following were obtained: at a distance between nozzles of nozzles 24 mm, the pressure of the feed 0,2 – 0,22 MPa, at the concentrate head 0.1 – 0.3 m, the value of the annular gap in the 0,3 mm ejection chamber was the acidity of the solution 3.08 – 3.46 cm<sup>3</sup>, which is a positive result. Studies on the quality of mixing of liquids under the given conditions have shown that the highest homogeneity of the concentration of the mixed component can be obtained at a water pressure of 2.2 atm and a concentrate supply pressure of 100 mm ( $\sigma = 0.25$ ), and the lowest at water pressure 1, 7 atm and the concentrate feed pressure 300 mm, ( $\sigma = 0.49$ ). The analysis of the results confirms the analytically obtained conclusion that an increase in homogeneity of mixing with an increase in the speed of collision of jets, which occurs when increasing feed through the output nozzles of the apparatus and with increasing the pressure of water at the inlet to the mixer.

*Keywords:* liquid, mixing, counter-jet mixer, concentration, homogeneity.