

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА ВИКОРИСТАННЯ СТРУМИННОГО ЗМІШУВАННЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ ТА ХАРЧОВІЙ ГАЛУЗЯХ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

Самойчук К. О., д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3423-3510

В'юник О. В., інженер*

ORCID: 0000-0002-6413-5567

Ломейко О. П., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-7407-545X

Галько С. В., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7991-0311

Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

Тел. (0619) 42-13-06

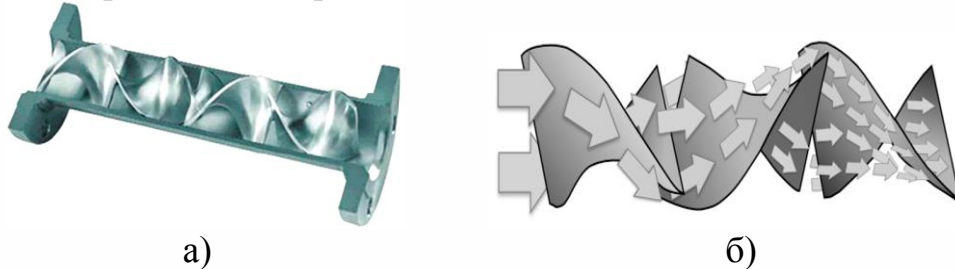
Постановка проблеми. Перемішування рідких компонентів є широко розповсюдженим процесом у різних галузях економіки України, зокрема у сільськогосподарському виробництві (приготування маточних розчинів, що використовуються у рослинництві, садівництві, тваринництві, птахівництві) та харчовій промисловості (приготування різноманітних розчинів, емульсій, тощо). В наш час гостро стоїть питання енергозбереження, тому є актуальним розробка та впровадження у виробництво змішувачів апаратів, які забезпечать якісне перемішування рідких компонентів при мінімальних витратах енергії та часу.

Аналіз останніх досліджень. Існують різні способи перемішування рідких компонентів: пневматичне, інерційне в потоці рідини, циркуляційне, механічне або струминне (в залежності від методу підведення енергії в середовища, що перемішуються) [1]. В результаті аналізу різних способів перемішування рідин було виділено найбільш перспективні. Ними є перемішування в проточних змішувачах та струминне перемішування [2].

Перемішування в трубопроводах і проточних змішувачах досить давно відоме в системах водоочищення і водопідготовки в харчовій та хімічній промисловості. Сьогодні цей метод розвивається дуже активно, в тому числі в хімічних реакторах, у фармацевтичній і харчовій промисловості, за кордоном – на підприємствах синтезу пластмас. При цьому процеси, що традиційно проводяться в ємнісній апаратурі, переводяться на проточні виробничі схеми [3 – 6]. На рисунку 1 представлена схема проточного (статичного) змішувача. Перемішування здійснюється в результаті проходження змішуваних компонентів через насадку складного профілю, розташовану

всередині трубопроводу.

Статичні змішувачі відрізняються один від одного за конфігурацією, довжиною, діаметром і набором інших показників, і в цілому дозволяють змішувати великий спектр дво- і багатокомпонентних матеріалів різної в'язкості, густини, хімічної природи і практичного призначення.

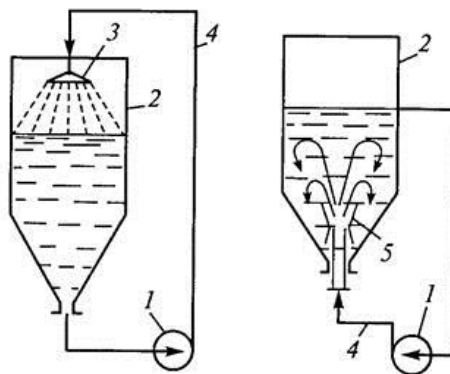


а) – будова; б) – поділення потоку.

Рис. 1. Проточний змішувач.

Значним недоліком статичних змішувачів є те, що вставні елементи, які забезпечують інтенсифікацію турбулентного руху рідини, одночасно з цим створюють надмірний гідравлічний опір апарату.

Струминне змішування в резервуарі (циркуляційне змішування) здійснюється за допомогою вмонтованих або винесених насосів, які багаторазово переміщують рідину в об'ємі апарату. Застосовують для підтримування рівномірного розподілу частинок в рідині, або вирівнювання концентрації та температури в об'ємі апарату. До схеми апарату циркуляційного перемішування належать: ємність, циркуляційний насос, трубопроводи, запірно-регулююча апаратура (рис. 2). Такі апарати використовують для одержання гомогенних (однорідних) розчинів і неоднорідних систем – суспензій та емульсій, для сатурації рідини з метою отримання газованих напоїв.



1 – насос; 2 – ємність; 3 – розбризкувач; 4 – труба; 5 – ежектор.

Рис. 2. Схеми циркуляційного перемішування.

Струмін рідини, що виходить з робочого сопла струминного змішувача (рис 3), створює частковий вакуум у вхідному конусі дифузору, і, таким чином, потік рідини зтягується і захоплюється з

резервуару. Робочий струмінь змішується із захопленою рідиною та прискорює її потік. Рідка суміш, що виходить із струминного змішувача, розповсюджується у формі конусу та захоплює більше рідини, яка знаходиться поруч.



Рис. 3. Струминні змішувачі.

При правильному встановленні одного, або декількох струминних змішувачів (рис.4) можливо отримати тривимірний потік у ємності, де відбувається змішування вмісту до однорідного стану.

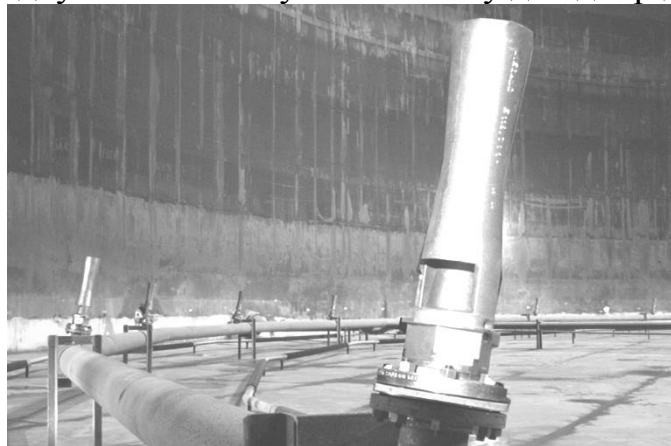


Рис. 4. Струминні змішувачі, встановлені в резервуарі.

Перевагами апаратів циркуляційного перемішування є відсутність рухомих частин, простота та надійність в експлуатації. Струминні змішувачі, що встановлюють в апарати, не потребують технічного обслуговування, якщо їх виготовлено з правильно вибраного матеріалу, вони мають майже необмежений термін експлуатації.

Недоліками циркуляційного перемішування є збільшення витрат енергії на транспортування за рахунок зростання втрат напору через тертя та місцеві опори, а також підвищена витрата електроенергії за рахунок високої кратності процесу та періодичний спосіб дії.

На сьогоднішній день найбільш дослідженим є процес струминного перемішування в резервуарі. Для різних конструкцій струминних змішувачів проведені експериментальні дослідження і визначено велику кількість залежностей [7 – 16], але ці залежності не є універсальними і не можуть бути використаними для будь-якого струминного змішувача.

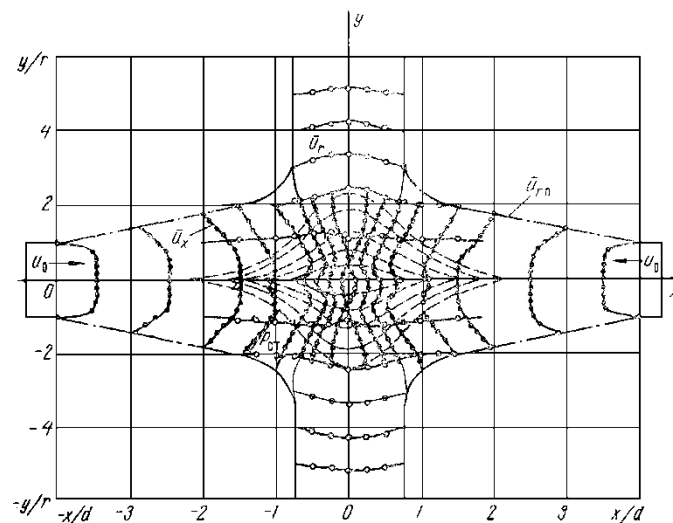
Зіткнення струменів є одним з ефективних методів

інтенсифікації різних процесів. Суть методу полягає в тому, що струмені направляють назустріч один одному так, що відбувається їх зіткнення. Осі струменів можуть бути розташовані на одній лінії або під кутом один до одного. В результаті зіткнення струменів утворюється виключно складний сумарний потік, який відрізняється інтенсивним загасанням швидкостей і температур. Тому процес зіткнення прийнято характеризувати властивістю гасіння енергії. Внаслідок гідродинамічного гальмування відбувається порушення стаціонарності процесу. Це є причиною специфічних явищ, які супроводжують формування результуючих струменів. Зміна кута між зустрічними струменями впливає на інтенсивність процесів тепло-масопереносу і найбільшою вона є при куті зустрічі струменів 180° .

В даний час відсутній єдиний підхід до оцінки ефекту струменів, що стикаються. Це можна пояснити різноманіттям початкових умов витікання струменів, зіткнення і формування. Накопичені певні експериментальні дані, що описують конкретні процеси або пристрої.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Обґрунтувати основні теоретичні та практичні результати (схеми та механізми) змішування рідких компонентів. Охарактеризувати перспективи їх використання в сільськогосподарській та харчовій галузях економіки України.

Основна частина. В результаті дослідження гідродинаміки зустрічних струменів було отримано поля відносних аксіальних і радіальних швидкостей, також ізобари статичних тисків у різних перетинах зустрічних струменів (рис. 5) [17].

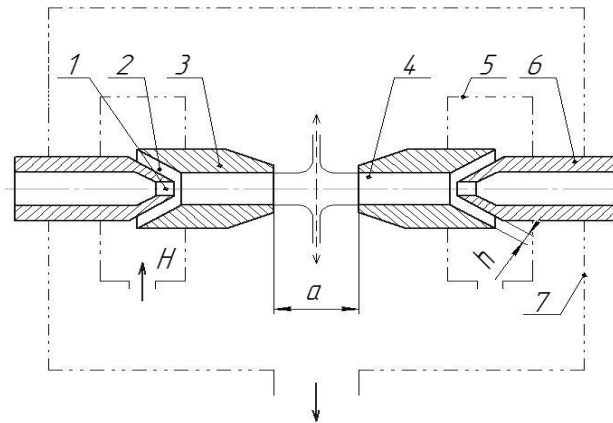


u_0 – початкова швидкість струменя; $\overline{p_{CT}}$ – ізобари статичних тисків;
 u_r – профіль радіальних швидкостей; u_{r0} – вільна лінія току.

Рис. 5. Поля відносних швидкостей та статичних тисків в зоні зіткнення струменів.

З рисунку 5 видно, що процес зіткнення потоків можливо представити як удар двох струменів однакового діаметру в уявну плоску стінку, розташовану симетрично зустрічним потокам, перпендикулярно вісі трубопроводів. Струмінь рідини, що виходить з трубопроводу, спочатку веде себе як вільний затоплений струмінь, який витікає в необмежений простір, і має характерний профіль швидкостей. Починаючи з відстані у два калібри від межі зустрічі струменів, профіль струменя деформується: з'являється провал в профілі аксіальних швидкостей на вісі потоку, який збільшується із наближенням до межі зіткнення струменів, а вектори швидкостей починають повертатись у напрямку, перпендикулярному вісі трубопроводу.

В результаті проведених раніше аналітичних досліджень існуючих струминних змішувачів [18] було розроблено конструкцію протитечійно-струминного змішувача. Схему розробленої конструкції представлено на рис. 6.

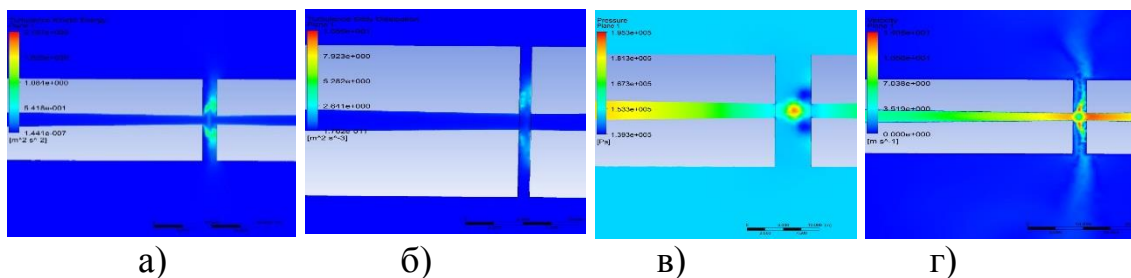


1 – робоче сопло; 2 – камера ежекції; 3 – камера змішування; 4 – сопло камери змішування; 5 – камера подачі підмішуваного компонента; 6 – робочий патрубок; 7 – камера збору рідини; а – відстань між соплами; Н – напір подачі підмішуваного компонента; h – кільцевий зазор камери ежекції.

Рис. 6. Схема протитечійно-струминного змішувача.

Дослідження струминного змішування рідин є складним процесом. Встановлення необхідних фізичних величин процесу змішування в лабораторних умовах є дуже проблематичним. Отримання деяких даних процесу є зовсім неможливим, тому звертаються до симуляції процесу в програмному комплексі ANSYS.

В результаті моделювання процесу змішування в програмному комплексі ANSYS були створені поля кінетичної енергії турбулентності, її дисипації, швидкостей і тиску в камері змішування при різних значеннях відстані між соплами форсунок (рис.7) [19].

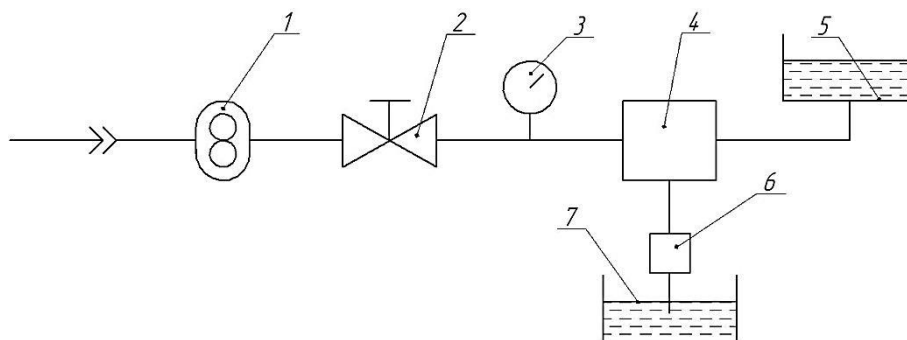


а – поле кінетичної енергії турбулентності; б – поле дисипації кінетичної енергії турбулентності; в – поле тисків; г – поле швидкостей.

Рис. 7. Результати моделювання процесу змішування.

Аналіз результатів проведених аналітичних досліджень дозволив визначити один з найважливіших конструктивних параметрів змішувача – відстань a між соплами форсунок ($a=d_c$).

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено методику їх проведення та розроблено і виготовлено експериментальну установку, схему якої представлено на рисунку 8.



1 – насос; 2 – обертовий кран; 3 – манометр; 4 – протитечійно-струминний змішувач; 5 – ємність з підмішуваним компонентом (концентратом); 6 – кондуктометр; 7 – приймальна ємність для змішаного продукту.

Рис. 8. Схема лабораторна установка.

В результаті проведення експериментальних досліджень було отримано ряд залежностей, які пов'язують конструктивні параметри змішувача і технологічні параметри процесу змішування [20]. Отримані результати можуть бути використані при побудові аналітичної моделі протитечійно-струминних змішувачів, гомогенізаторів та інших гідравлічних апаратів.

Експериментальний зразок протитечійно-струминного змішувача при габаритних розмірах 200x200x150 мм, масі 1,5 кг, і продуктивності 350 л/год має питомі енерговитрати 2,68 Вт/л. У порівнянні з ним найбільш розповсюджені танки з мішалками при рівній продуктивності мають в 5–10 разів більші габаритні розміри, в 8 разів більшу масу і в 3–4 рази більші питомі енерговитрати. Це

свідчить про високу перспективність впровадження протитечійно-струминних змішувачів у сільськогосподарському виробництві (приготування розчинів поживних речовин для підкормки рослин, приготування розчинів отрутохімікатів, тощо), також у харчовій промисловості (виготовлення напоїв).

Висновки. Процес змішування рідких компонентів є дуже розповсюдженим у сільськогосподарській та харчовій галузях виробництва. Доцільність використання методу зіткнення струменів стосовно обладнання для змішування взаєморозчинних рідин впливає з умови зниження енергетичних витрат на процес перемішування компонентів. Перевагами протитечійно-струминного змішування є швидкий процес приготування продукту, невелика кількість продукту, що знаходиться в установці, немає необхідності в наявності об'ємних буферних танків, що дає можливість розміщувати систему в обмеженому просторі, економити робочі площі, оперативно реагувати на зміни в плануванні виробництва. Ступінь і ефективність перемішування в протитечійно-струминному змішувачі є дуже високими. Використання таких змішувачів у різних галузях виробництва дозволяє отримати більш прості та надійні технічні рішення порівняно з використанням інших змішувальних пристроїв.

Література:

1. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности / Пер. с чешск. Ленинград: Госхимиздат, 1963. 417.
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. Laporte M., Loisel C., Della Valle D., Riaublanc A., Montillet A. Low process conditions to control the void fraction of food foams in static mixers. *Journal of Food Engineering*. 2014. 128. P. 119–126.
4. Taweela A. M., Azizib F., Siriyeerachai G. Static mixers: Effective means for intensifying mass transfer limited reactions. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2013. 72. P. 51–62.
5. Zhang L., Dong J., Jiang B., Sun Y., Zhang F., Hao L. Static mixers: A study of mixing performance of polyacrylamide solutions in a new-type static mixer. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2015. 88. P. 19–28.
6. Pozrikidis C. Fluid Dynamics: Theory, Computation, and Numerical Simulation. 2nd ed. New York : Springer, 2009.
7. Wasewar K. L., Sarathy J. V. CFD Modelling and simulation of jet mixed tanks. *Engineering applications of Computational Fluid Mechanics*. 2008. Vol. 2, No. 2. P. 155–171.
8. Sendilkumar K., Kalaichelvi P., Perumalsamy M., Arunagiri A.,

Raja T. Computational fluid dynamic analysis of mixing characteristics inside a jet mixer for newtonian and non newtonian fluids. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*. 2007. 9 p.

9. Saravanan K., Sundaramoorthy N., Mohankumar G., Subramanian N. Studies on some aspects of jet mixers I: Hydrodynamics. *Modern Applied Science*. 2010. Vol. 3, № 4. P. 51–59.

10. Wasewar K. L. A design of jet mixed tank. *Chemical and Biochemical Engineering*. 2006. 20(1). P. 31–46.

11. Pan Gang, Meng Hui. An experimental study of turbulent mixing in a tee mixer using PIV and PLIF. *AIChE Journal*. 2001. Vol. 47, is. 12. P. 2653–2665.

12. Daas M., Srivasta R., Roeltan D. Submerged jet mixing in nuclear waste tanks: a correlation for jet velocity. *WM Symposia*. 2007. Vol. 41, is.14. P. 9.

13. Joshua Jacob Engelbrecht. Optimization of a hydraulic mixing nozzle. Iowa State University, 2007. 65 p.

14. Espinosa E. Design Optimization of Submerged Jet Nozzles for enhanced mixing. FIU Electronic theses and dissertations, 2011.101 p.

15. Nienow A. W., Harnby N., Edwards M.F. Mixing in the Process Industries / ed. by A. W. Nienow. 2 nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 1997. 418 p.

16. Zlokarnik M. Stirring: Theory and Practice. Weinheim : Wiley-VCH, 2001. 362 p.

17. Эльперин И. Т., Мельцер В. Л., Павловский Л. Л., Енякин Ю. П. Процессы переноса во встречных струях. Минск: Наука и техника, 1972. 216 с

18. 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.

19. Самойчук К. О., Полудненко О. В., Бездичный А. А. Аналитические исследования противоточно-струйного смесителя жидкостей. *Международный научный институт "Educatio"*. Новосибирск. 2014. №.7, ч. 3. С. 65 – 68.

20. В'юник О. В., Паніна В. В. Дослідження процесу змішування рідин у протитечійно-струминному змішувачі. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь. 2018. №2, т. 8. URL : file:///C:/Users/admin/Downloads/nvtdau_2018_8_2_18.pdf (дата звернення: 17.02.2020).