

УДК 663.8

**Р.В. ПЕТРИКЕЙ**, аспірант (*Р.В. Петрикей, аспирант; R. Petrikei, postgraduante*)  
**О.М. ПРОХОРОВ**, доцент (*А.Н. Прохоров, доцент; A. Prohorov, docent*)

*Національний університет харчових технологій*  
*Национальный университет пищевых технологий*  
*National University of Food Technologies*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОБОТИ ПОТОКОВИХ ЗМІШУВАЧІВ КАРБОНІЗАТОРІВ**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАБОТЫ ПОТОКОВЫХ СМЕСИТЕЛЕЙ КАРБОНИЗАТОРОВ**

## **RESEARCH DYNAMICS OF STREAMING CARBONATING MIXER**

---

*Досліджено гідродинаміку роботи поточкових змішувачів різноманітних конструкцій, які можуть бути використані для насичення напоїв діоксидом вуглецю в потоці в складі карбонізаторів (синхронно-змішувальних установок) за допомогою програмного комплексу Flow Vision та обґрунтовано вибір оптимальної конструкції.*

**Ключові слова:** *діоксид вуглецю, напій, насичення, сатурація, гідродинаміка, синхронно-змішувальна установка, карбонізатор.*

*Исследовано гидродинамику работы поточковых смесителей разнообразных конструкций, которые могут быть использованы для насыщения напитков диоксидом углерода в потоке в составе карбонизаторов (синхронно-смесительных установок) с помощью программного комплекса Flow Vision и обоснованно выбор оптимальной конструкции.*

**Ключевые слова:** *диоксид углерода, напиток, насыщение, сатурація, гидродинамика, синхронно-смесительная установка, карбонизатор.*

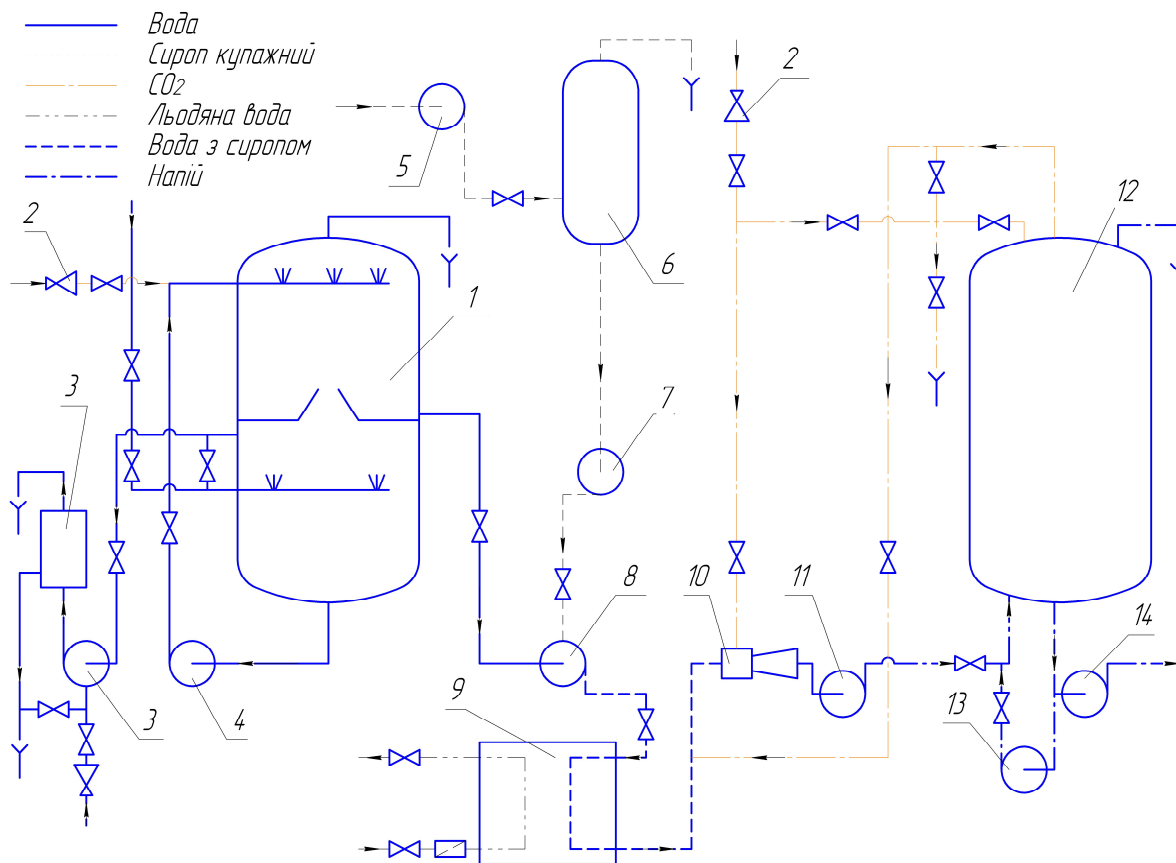
*The hydrodynamics of flow mixing various designs that can be used to saturate the beverage with carbon dioxide in the stream within carbonators (synchronous mixing plant) by Flow Vision software system was studied and the choice of the optimal design was justified.*

**Keywords:** *carbon dioxide, drink, saturation, fluid dynamics, synchronous mixing plant, karbonizator.*

Карбонізація – остання і одна з основних технологічних операцій у виробництві газованих безалкогольних та слабоалкогольних напоїв, в процесі якої в готовий напій вводиться вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>). В її основі лежить здатність діоксиду вуглецю при взаємодії з водою утворювати водний розчин.

Процес насичення напоїв діоксидом вуглецю відбувається в синхронно-змішувальних установках (карбонізаторах). На рис. 1 зображена принципова схема і будова автоматизованої синхронно-змішувальної установки для насичення напоїв діоксидом вуглецю в потоці.

У виробництві газованих напоїв використовують карбонізатори різних конструкцій. В залежності від конструктивних ознак їх поділяють на: поверхневі, плівкові, розпилювальні, барботажні та механічні.

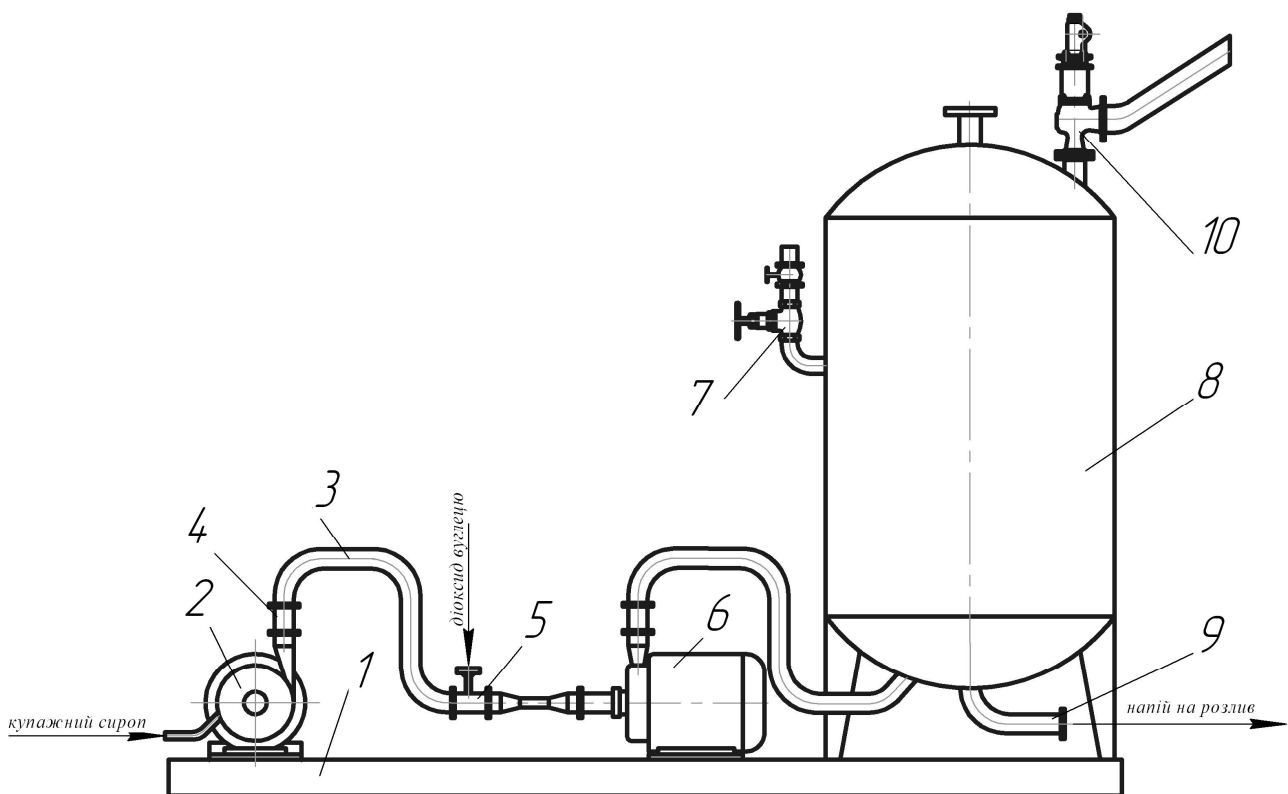


1. Деаератор. 2. Редукційний вентиль. 3. Вакуум - насос. 4. Циркуляційний насос. 5, 7, 13, 14. Насоси. 6. Сиропна ємкість. 8. Насос змішування. 9. Пластинчастий теплообмінник. 10. Поточковий змішувач. 11. Сатураційний насос. 12. Напірна (буферна) ємкість.

**Рис. 1. Схема автоматизованої синхронно-змішувальної установки**

Але всі вони мають ряд суттєвих недоліків, зокрема, складну конструкцію, ненадійні в роботі, складність в обслуговуванні, автоматизації, експлуатації та ремонті, розвинену лабіринтну робочу поверхню в середині ємкостей карбонізаторів, що не кращим чином позначається на антисептичних умовах. До недоліків також можна відвести нерівномірне введення і перемішування діоксиду вуглецю з напоєм, значні втрати CO<sub>2</sub>.

Інша справа – це насичення напоїв в потоці, за допомогою поточкових змішувачів, які входять до складу карбонізаторів. Вони мають цілий ряд значних переваг: просту конструкцію, яка зовсім не створює проблем в процесі експлуатації, ремонті та обслуговуванні, легко автоматизуються, відсутність лабіринтної робочої поверхні в ємкостях позитивно відображається на антисептичному стані карбонізаторів, надійну роботу, і, головне, сприяють інтенсивному та якісному (гомогенному) змішуванню діоксиду вуглецю з напоєм, мають менші втрати  $\text{CO}_2$ , досягається висока ступінь насичення напоїв діоксидом вуглецю, підвищується їх біологічна стійкість та підтримується заданий рівень фізико-хімічних показників.



**Рис. 2. Ділянка насичення з напірним резервуаром**

Основним елементом карбонізатора є ділянка насичення до складу якої входить поточковий змішувач. На цій ділянці безпосередньо відбувається введення вуглекислого газу в середину потоку рідини. За поточковим змішувачем розміщується довгий трубопровід або напірний резервуар, які необхідні для забезпечення розчинення діоксиду вуглецю в напої. В цьому полягає основна відмінність конструкції карбонізаторів для насичення напоїв в потоці від решти.

Найбільш поширеною для насичення напоїв діоксидом вуглецю є ділянка насичення, яка працює за принципом Вентурі та разом з напірним резервуаром є основним вузлом карбонізатора (рис. 2). До її складу входить станина 1, насос змішування купажного сиропу з підготовленою водою 2, трубопроводи 3, зворотній клапан 4, змішувач 5, сатураційний насос 6, регулятор тиску 7, напірний резервуар 8 з витратним штуцером 9 та запобіжним клапаном 10.

Працює вона наступним чином. Готовий напій після насоса змішування подається на ділянку насичення. Швидкість потоку рідини тут підтримується системою регулювання в оптимальному діапазоні. Розрідження, яке створюється на цій ділянці, забезпечує ефект всмоктування вуглекислого газу. Тимчасове збільшення швидкості потоку сприяє розподілу діоксиду вуглецю в потоці і тим самим забезпечує якісне перемішування газу з продуктом.

Тиск діоксиду вуглецю, який вводиться в напій, на ділянці насичення повинен бути завжди мінімум на 0,1 МПа вищий за тиск насичення. Зазвичай величина тиску вуглекислого газу становить 0,6 МПа, а тиск, при якому відбувається насичення, відповідно,  $0,45 \div 0,5$  МПа. Цей перепад забезпечується насосом сатурації, куди після потокового змішувача потрапляє вже газований напій і там відбувається перемішування напою і вуглекислого газу. Діоксид вуглецю підводиться до ділянки насичення із напірного резервуару, постійний тиск в якому гарантує рівномірну карбонізацію напою. Крім того, така технологія забезпечує підведення вуглекислого газу без втрат.

Після ділянки насичення напій потрапляє в напірний резервуар, де витримується під тиском 0,6 МПа безпосередньо перед розливом. Напірний резервуар у поєднанні зі змішувальною системою виконує одночасно роль буферного резервуару для згладжування роботи лінії розливу. Готовий напій подається на розлив за рахунок тиску, який створює діоксид вуглецю в напірному резервуарі.

Важливою складовою частиною карбонізатора є аналізатор для безперервного контролю основних параметрів продукту перед розливом.

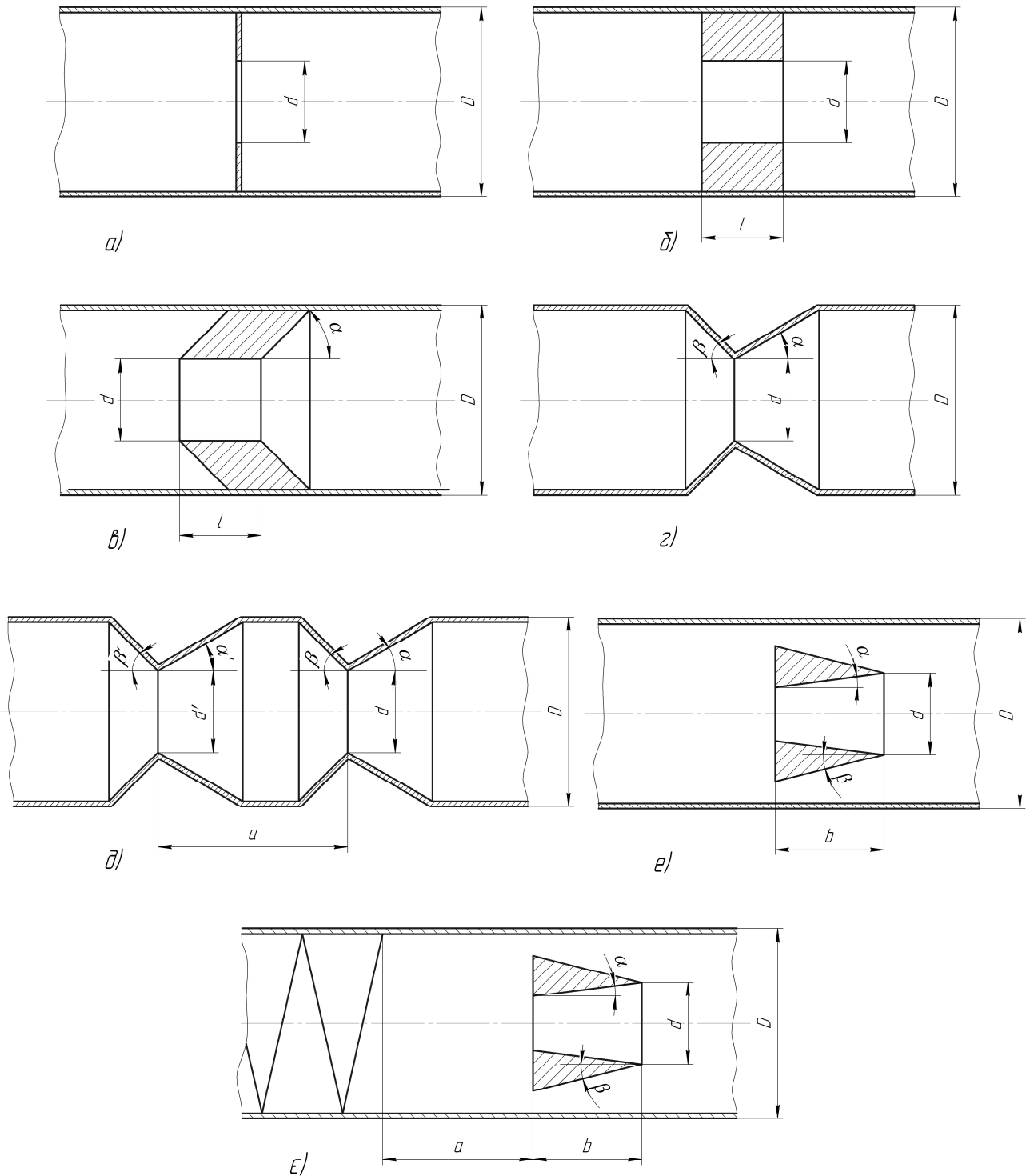
Аналізатор контролює вміст вуглекислого газу в напої, електропровідність і градуси Брікса. Вказані параметри записуються і контролюються в заданих межах. Карбонізатори мають різну продуктивність, яка повинна відповідати встановленій продуктивності розливу.

Але вказаний пристрій, який працює за принципом Вентурі теж має певні недоліки. Він, зокрема, не забезпечує достатнього, для проведення процесу карбонізації, контакту фаз рідини і газу так, як в ньому відбувається нерівномірний розподіл діоксиду вуглецю по всьому перерізу потоку напою за рахунок введення його тільки в центр рідинного потоку і відсутнє перемішування напою з діоксидом вуглецю в трубі. Насос карбонізації, який призначений для створення розрідження на ділянці насичення, не забезпечує належного змішування напою з діоксидом вуглецю при перекачуванні в напірний резервуар, а, навпаки, сприяє виділенню діоксиду вуглецю з напою за рахунок різної швидкості, а, відповідно, і тиску на лопатях відцентрового насосу.

Тому основна увага в статті була приділена вибору оптимальної конструкції змішувального пристрою для рідини та газу. За допомогою програмного комплексу Flow Vision було досліджено гідродинаміку змішувальних пристроїв різних конструкцій, в яких використовуються різноманітні конструктивні рішення, кожне з яких має свій вплив на гідродинамічну обстановку в змішувальному пристрої (рис. 3). Такі, як звуження і розширення труб під різними кутами, звужуюча пластина на шляху потоку, внутрішня і зовнішня гвинтові поверхні, різкий перехід від отвору більшого діаметру до меншого і навпаки та ін.

В процесі моделювання було проаналізовано, як змінюється швидкість потоку рідини і розподіляється тиск в середині трубопроводу в залежності від основних конструктивних параметрів моделі, таких як діаметр та ширина отвору звужуючої пластини, яка встановлена перпендикулярно до напрямку потоку, кут звуження  $\alpha$  і розширення  $\beta$  трубопроводу, як і на яку відстань відбувається закручування потоку після контакту з перешкодою та зони

пониженого тиску, які при цьому утворюються.



**Рис. 3. Розроблені варіанти змішувачів**

Метою досліджень було виявлення зон пониженого тиску на шляху потоку рідини, які можна було б заповнювати вуглекислим газом з подальшим перемішуванням рідини та газу.

Всі дослідження змішувачів за допомогою програмного комплексу Flow Vision проводилися за незмінними початковими умовами:  $D =$

70 мм, швидкість потоку рідини на вході  $v = 1$  м/с і тиск  $p = 0,1$  МПа, досліджувана рідина – вода.

В результаті проведених досліджень було виявлено переваги і недоліки кожного зі змішуючих пристроїв, представлених на рис. 3, тому можна зробити деякі попередні висновки щодо використання того чи іншого пристрою.

При дослідженні проходження рідини через трубопровід, в середині якого перпендикулярно потоку встановлено звужуючу пластинку (рис. 3.а) було визначено, що зі зменшенням діаметру отвору  $d$  звужуючої пластини швидкість потоку збільшується, тиск рідини перед пластиною зростає, а після пластини зменшується. Довжина струменя рідини на виході з отвору пластини тим довша, чим менший отвір в пластині і тим більші застійні зони утворюються на виході з пластини.

Якщо разом зі зміною діаметру отвору звужуючої пластини змінювати і його ширину  $l$  (рис. 3.б), то значення швидкості потоку рідини при різних діаметрах отвору  $d$  пластини буде відповідати значенням швидкості для попереднього варіанту, тільки довжина струменя рідини на виході з отвору звужуючої пластинки збільшується на ширину отвору, а по бокам струменя відбувається закручування потоку.

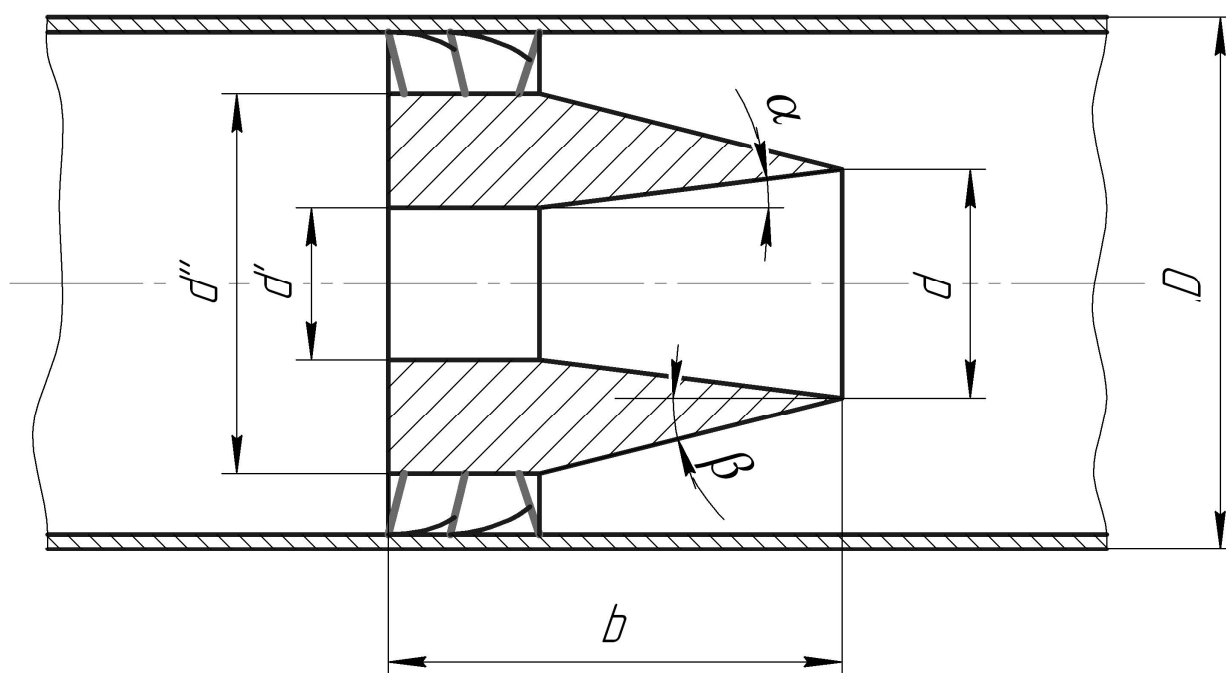
В наступному варіанті (рис. 3.в) поєднано два попередні варіанти – зміна діаметру  $d$  і ширини  $l$  отвору звужуючої пластинки, але перехід від більшого до меншого отвору відбувається поступово під кутом  $\alpha$ . Дослідним шляхом було встановлено, що оптимальним кутом звуження є кут  $\alpha = 15 \div 20^\circ$ , при якому не відбувається відриву потоку рідини від стінки трубопроводу в місці переходу.

Якщо трубопровід має звуження (конфузор) під кутом  $\alpha$  і розширення (дифузор) під кутом  $\beta$  (рис. 3.г), то, приймаючи до уваги визначений оптимальний кут звуження  $\alpha = 15 \div 20^\circ$  з попереднього варіанту, з'ясували, що оптимальним кутом  $\beta$  розкриття дифузора є кут  $\beta = 10 \div 12^\circ$ . При більшому куті відбувається відрив потоку від стінок дифузору, що супроводжується різким збільшенням гідравлічного опору змішуючого пристрою.

В наступному варіанті, де встановлено послідовно по чергово два

конфузора і дифузора з різними кутами  $\alpha$  і  $\beta$  (рис. 3.д) маємо однаково незмінні значення швидкості потоку в кожному звуженні і розширенні трубопроводу, як і в попередньому варіанті, а значення тиску при цьому в кожному наступному звуженні та розширенні трубопроводу поступово зменшується.

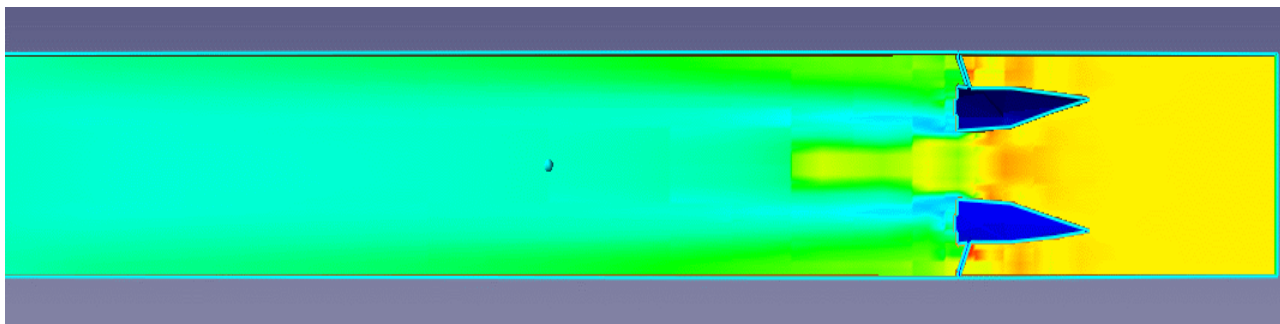
Вставка, встановлена всередині трубопроводу (рис. 3.е) має звужуючий отвір  $d$  і розділяє загальний потік рідини на два однакових за площею поперечного перерізу потоки: внутрішній, який проходить через отвір вставки і зовнішній – в зазорі між зовнішньою поверхнею вставки і внутрішньою поверхнею трубопроводу. Вставка також має звуження (оптимальний кут звуження  $\alpha = 5 \div 15^\circ$ ) і розширення (оптимальний кут розширення  $\beta = 5 \div 10^\circ$ ) для локального збільшення швидкості потоку. На виході з вставки між цими двома потоками, розділеними товщиною стінки вставки утворюється зона пониженого тиску. В цьому місці доцільно в потік рідини вводити діоксид вуглецю з їх подальшим перемішуванням.



**Рис. 4. Оптимальна конструкція змішуючого пристрою**

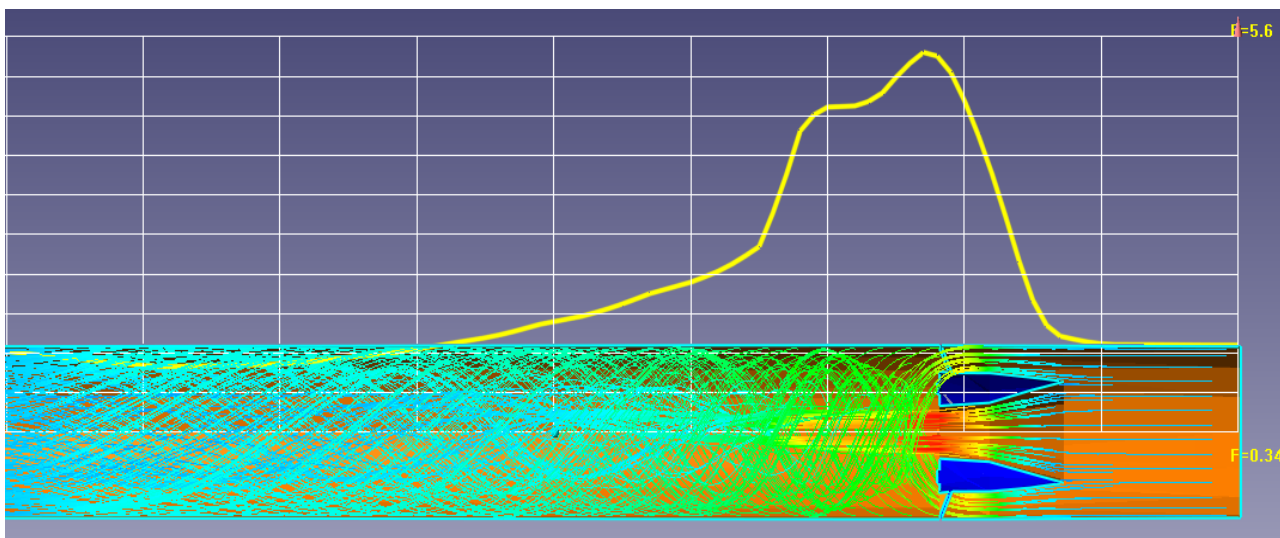
Якщо за вставкою, яка знаходиться всередині трубопроводу, розмістити на певній відстані  $a$  внутрішню гвинтову поверхню (рис. 3.е), то таким чином можна здійснити перемішування рідини та газу, який вводиться між внутрішнім

і зовнішнім потоками. Швидкість потоку рідини при проходженні гвинтової поверхні зростає, а тиск поступово зменшується.



**Рис. 5. Карта тиску проходження потоку рідини крізь вставку**

Але оптимальною є конструкція змішуючого пристрою, який показаний на рис. 4. До його складу входить трубопровід, всередині якого встановлено вставку для розподілу загального потоку на внутрішній та зовнішній з введенням між ними діоксиду вуглецю. Внутрішній потік має більшу швидкість за рахунок звуження отвору всередині вставки та інжектуює діоксид вуглецю, який вводиться в зону пониженого тиску (рис. 5) рідинного потоку через форсунки, які рівномірно розташовані по колу з торця вставки. На зовнішній



**Рис. 6. Поле швидкості проходження потоку рідини крізь вставку**

поверхні вставки закріплено лопаті під певним кутом до напрямку потоку для закручування зовнішнього потоку рідини, який потрапляючи на них, сприяє перемішуванню рідини з газом після вставки на відстань  $0,5 \div 0,8 D$  (рис. 6).

**Висновки.** Таким чином, в оптимальній конструкції змішуючого пристрою для насичення напоїв діоксидом вуглецю в потоці загальний потік буде розподілятися на внутрішній та зовнішній з введенням вуглекислого газу

між ними та подальшим перемішуванням за допомогою лопатей, які закручуючи зовнішній потік, перемішують весь потік напою. Це в свою чергу робить недоречним використання на ділянці насичення насоса карбонізації, що в результаті приводить до економії електроенергії, спрощення конструкції карбонізатора, його обслуговування і експлуатації, збільшення поверхні контакту рідкої та газової фаз, підвищення коефіцієнту масопередачі.

### ***ЛІТЕРАТУРА***

1. *Виноградов В.А., Паршин Б.Д. Тихонов В.П.* Способы насыщения напитков диоксидом углерода. - М.: АгроНИИТЭИПП, 1992. – 20с.

2. *Ермолаева Г.А., Колчева Р.А.* Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков: Учеб. для нач. проф. образования. – М.: ИРПО; Изд. центр «Академия», 2000. - 416с.

3. *Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І.Ф. Малежика.* – К.: НУХТ, 2003. – 400 с.: іл.

4. *Скурихин В.М., Рудольф В.В.* Автоматизированные сатурационные установки для производства безалкогольных напитков. – М.: АгроНИИТЭИПП, 1983. – 36с.

5. *Шуманн Г.* Безалкогольные напитки: сырье, технологи, нормативы / пер. с нем. под общ. науч. ред. А.В. Орещенко. – СПб: Профессия, 2004. – 278с.

*Стаття надрукована в журналі «Харчова промисловість» № 12 (2008) с. 96-98.*