

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

**ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАСИЧЕННЯ НАПОЇВ СО₂ ШЛЯХОМ
ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА НАСЫЩЕНИЯ НАПИТКОВ СО₂
ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ
КАВИТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ**

**INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF SATURATION OF BEVERAGE
CO₂ USING HYDRODYNAMIC CAVITATION DEVICES**

Досліджено роботу гідродинамічних кавітаційних пристроїв у складі ділянки насичення синхронно-змішувальної сатураційної установки та вплив основних факторів на процес насичення напоїв діоксидом вуглецю у виробничих умовах. Проведено порівняльний аналіз ефективності процесу сатурації напоїв в залежності від конструкції кавітаційних пристроїв та визначено вплив кожного пристрою на інтенсифікацію процесу насичення напоїв.

Ключові слова: діоксид вуглецю, напій, насичення, сатурація, інтенсифікація, гідродинамічний кавітаційний пристрій, синхронно-змішувальна сатураційна установка.

Исследовано работу гидродинамических кавитационных устройств в составе синхронно-смесительной сатурационной установки та влияние основных факторов на процесс насыщения напитков диоксидом углерода в производственных условиях. Проведен сравнительный анализ эффективности процесса сатурации напитков в зависимости от конструкции кавитационных устройств и определено влияние каждого устройства на интенсификацию процесса насыщения напитков.

Ключевые слова: диоксид углерода, напиток, насыщение, сатурация, интенсификация, гидродинамическое кавитационное устройство, синхронно-смесительная сатурационная установка.

It was researched the work of hydrodynamic cavitations' device in part of synchronous – mixing setting and influence of basic factors on the process of saturation drinks by carbon dioxide in production conditions. It was done a comparative analysis of the drinks saturation process efficiency depending on cavitations' devices construction and it was detected an impact of each device on the intensification of drinks saturation process.

Key words: *carbon dioxide, drink, saturation, intensification, hydrodynamic cavitations' device, synchronous-mixing setting.*

Найбільший технологічний інтерес для інтенсифікації процесу насичення газованих напоїв діоксидом вуглецю мають гідродинамічні кавітаційні (ГДК) пристрої зі статичними кавітаторами, розміщеними в потоці рідини, оскільки вони є одним із простих і найбільш ефективних способів зміни геометрії течії технологічного середовища. При гідродинамічній кавітації під час насичення в потоці рідини внаслідок різкої зміни характеристик поля швидкостей і тисків виникають порожнини, заповнені діоксидом вуглецю, розчиненим в рідині. Перемішуюча, диспергуюча, гомогенізуюча дія кавітації є наслідком значної кількості одиничних силових впливів кавітаційних порожнин (бульбашок), енергетичний потенціал яких надзвичайно високий. Енергія для збудження кавітації підводиться безпосередньо самим потоком рідини [3].

ГДК пристрої зі статичними кавітаторами використовуються в складі ділянок насичення синхронно-змішувальних установок (СЗСУ) для насичення напоїв в потоці.

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

Труба Вентурі є класичним і добре дослідженим пристроєм для генерації кавітаційного режиму течії середовища і конструктивно містить звужуючу технологічний потік частину – конфузор, вузьку горловину з критичним перетином та частину, що розширюється – дифузор. При проходженні рідини через трубу Вентурі, в критичному перетині горловини утворюється кільцева кавітаційна каверна, яка збільшується з часом, виходить в дифузор і розпадається (захлопується) з утворенням поля кавітаційних бульбашок [3].

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

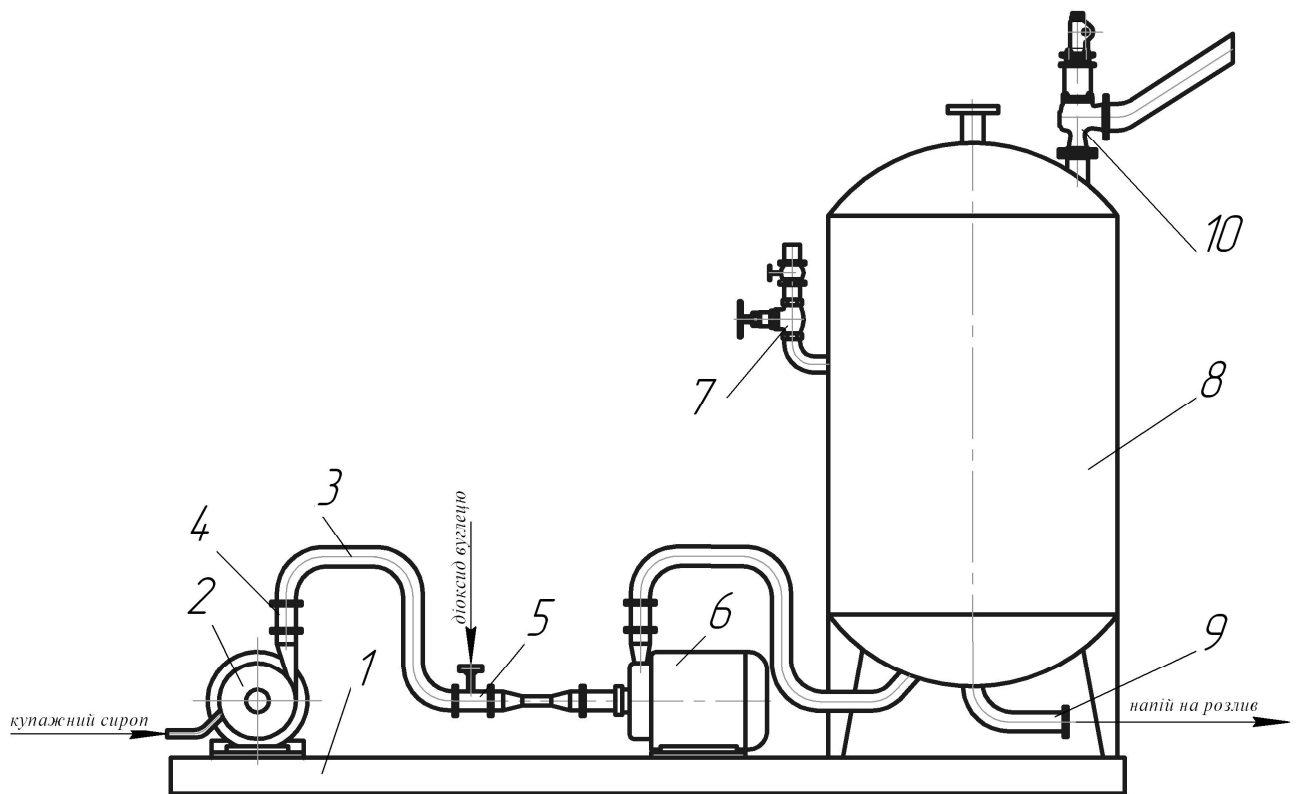


Рис. 1. Ділянка насичення з напірним резервуаром

ГДК пристрій, який працює за принципом Вентурі має певні недоліки. Він не забезпечує достатнього, для проведення процесу сатурації, контакту фаз рідини і газу, оскільки в ньому відбувається нерівномірний розподіл діоксиду вуглецю по всьому перерізу рідинного потоку напою за рахунок введення його тільки в центр потоку і відсутнє перемішування напою з діоксидом вуглецю в трубі, що зменшує площу поверхні контакту рідинної та газової фаз. Результатом цього є не досить стійкий зв'язок двофазової системи «напій-СО₂», а при декомпресії напою недостатньо зв'язаний діоксид вуглецю виділяється з напою. При відкриванні ковпачка пляшки чути характерний хлопок, який

свідчить про значний тиск нерозчиненого CO_2 в газовому просторі пляшки. «Гра» бульбашок в напої при цьому менш тривала і відбувається порівняно великими бульбашками.

З метою усунення цих недоліків було розроблено ГДК пристрій для ділянки насичення зі статичним кавітатором у вигляді зрізаного конуса 1 з системою каналів 2 для підведення CO_2 , конусним отвором всередині і лопатями на зовнішній поверхні 3 для закручування потоку рідини та розміщеними по периметру з торця конуса форсунками 4 для введення діоксиду вуглецю в потік (рис. 2).

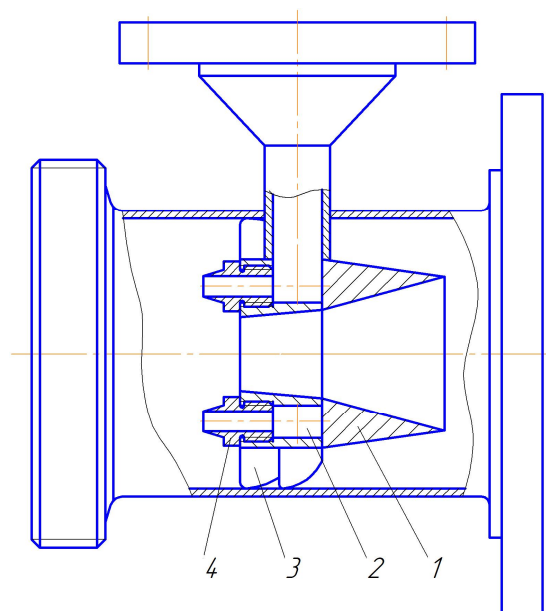


Рис. 2. Розроблений ГДК пристрій

Загальний потік рідини, проходячи через ГДК пристрій розділяється на два потоки: внутрішній і зовнішній. Обидва потоки рухаються з однаковою швидкістю. Внутрішній потік інжектуює діоксид вуглецю, який вводиться в порожнини рідинного потоку, що виникають за кавітатором в напрямку руху потоку.

На зовнішній поверхні статичного кавітатора закріплено лопаті під певним кутом до напрямку потоку для закручування зовнішнього потоку рідини, який потрапляючи на них, сприяє перемішуванню всього потоку рідини з газом після кавітатора. Розрідження, що створюється на цій ділянці насосом сатурації додатково сприяє рівномірному розподілу та всмоктуванню діоксиду

вуглецю рідиною. Що забезпечує більш міцний зв'язок системи «напій-СО₂».

Експериментальні дослідження роботи обох кавітаційних пристроїв проводилися у виробничому цеху ПрАТ «Київський завод безалкогольних напоїв «Росинка».

В якості об'єктів дослідження використовували мінеральну і підготовлену воду та фруктові напої.

Вплив різних факторів на процес насичення напоїв та якість насичення напоїв досліджували на СЗСУ «Paramix» виробництва німецької фірми «KHS», на ділянці насичення якої почергово було встановлено обидва кавітаційних пристрої.

Ефективність насичення напоїв при роботі обох кавітаційних пристроїв визначали за рівнем втрат діоксиду вуглецю протягом технологічного циклу виготовлення напою, а також за органолептичними показниками напоїв, що пройшли повну технологічну обробку. Різноманітні параметри процесу, що впливають на насичення, діапазон їх вивчення, стабільність процесів і властивості напоїв визначали за літературними джерелами та експериментальним шляхом.

Але основним показником ефективності процесу була масова концентрація діоксиду вуглецю в напої. Метод, за яким визначали вміст діоксиду вуглецю, передбачає визначення СО₂ в напоях після розливу в пляшки місткістю 1 дм³ і 2 дм³ та закупорювання. Він ґрунтується на вимірюванні тиску діоксиду вуглецю в газовому просторі пляшки і температури напою.

Пристрій для визначення тиску в пляшках з напоєм має манометр 7 (рис. 3) з діапазоном вимірювання 0 ÷ 0,4 МПа. Крім манометра до складу пристрою входить привод 9, на вихідному горизонтальному валу 4 якого закріплений циліндр 3 для розміщення в ньому пляшки і обертання її відносно горизонтальної осі зі швидкістю 50 хв⁻¹. Циліндр має відкидну кришку із заціпкою 6, всередині якої встановлена пустотіла голка, з'єднана з манометром і навколишнім середовищем через кран 8. Керування пристроєм здійснюється за допомогою панелі управління 10.

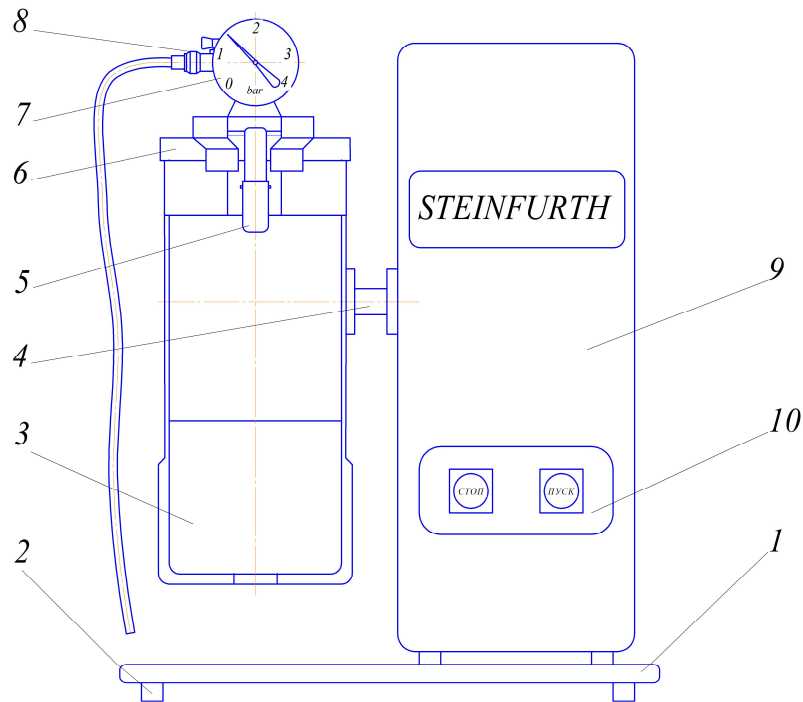


Рис. 3. Пристрій для визначення тиску в пляшці з напоєм

Під час випробування пляшка з напоєм закріплюється в циліндрі приладу таким чином, щоб голка, встановлена в кришці приладу, при її закриванні проколола ковпачок і ввійшла всередину пляшки при закритому вентилі, який з'єднаний з навколишнім середовищем. Прилад із затиснутою в ньому пляшкою запускають в роботу. Циліндр обертається навколо горизонтальної осі протягом 2 хв. Після закінчення струшування пляшки знімають покази манометра. Потім пляшку виймають з пристрою, відкривають ковпачок і за допомогою термометра вимірюють температуру напою. Масову концентрацію діоксиду вуглецю в напої в залежності від величини виміряного тиску і температури знаходять за таблицею.

Згідно літературних джерел на процес насичення напоїв діоксидом вуглецю впливають п'ять основних факторів: 1) тиск подачі діоксиду вуглецю в напій; 2) витрата діоксиду вуглецю на насичення; 3) склад напою; 4) температура напою; 5) розрідження при деаерації води.

При дослідженні вмісту діоксиду вуглецю в підготовленій і мінеральній воді та напоях від різноманітних параметрів змінювали тільки той параметр, який вивчали в межах вибраного діапазону, а решту параметрів підтримували на постійному рівні. Значення тиску подачі діоксиду вуглецю та його витрата були рівні 0,6 МПа та 6,0 г/дм³, відповідно. Величина розрідження в дегазаторі

при дегазації води складала 0,085 МПа, тиск CO_2 для додаткової дегазації води 0,2 МПа. Температура напоїв, мінеральної та підготовленої води 8 °С.

Решту параметрів підтримували на мінімальному рівні для найменшого впливу на процес насичення і уникнення викривлення результатів під час вивчення залежності масової концентрації діоксиду вуглецю від різноманітних параметрів.

Для оцінки міцності зв'язку двофазної системи «вода (напій)- CO_2 » проводили заміри залишкового вмісту діоксиду вуглецю у мінеральній воді кожну добу, яка зберігалася у відкритих пляшках за нормальних умов. Напої, які при наливі утворюють піну, перевірили на піностійкість, адже стійка дрібнодисперсна піна також є показником якості напоїв.

Фактори, що мають суттєвий вплив на процес насичення досліджували для обох конструкцій кавітаційних пристроїв, а вплив решти факторів тільки для ділянки насичення з ГДК пристроєм розробленої конструкції.

Залежність вмісту CO_2 від температури напою визначали для мінеральної води та фруктового напою на ділянці насичення з кавітаційним пристроєм розробленої конструкції.

Між температурою і ступенем насичення напоїв та мінеральної води існує обернена залежність. Температуру мінеральної води та напою змінювали від 4 до 14 °С з інтервалом 2 °С. Графік залежності масової концентрації CO_2 від температури мінеральної води (1) і напою (2) зображено на рис. 4.

В результаті досліджень була виявлена залежність, при якій спостерігається зменшення масової концентрації діоксиду вуглецю в мінеральній воді та напої зі зростанням її температури.

Таким чином, поглинальна здатність мінеральної води і напоїв тим вища, чим нижча їх температура. Саме тому в процесі сатурації рекомендується прагнути до більш низької температури, що допомагає уникнути надзвичайно високих тисків і таким чином захистити СЗСУ від пошкоджень, а також сприяє економії діоксиду вуглецю.

Залежність масової концентрації діоксиду вуглецю від його витрати на

насичення вивчали для мінеральної, підготовленої води та фруктових напоїв для ділянки насичення з кавітаційним пристроєм розробленої конструкції (1) та для ділянки насичення, що працює за принципом Вентурі (2).

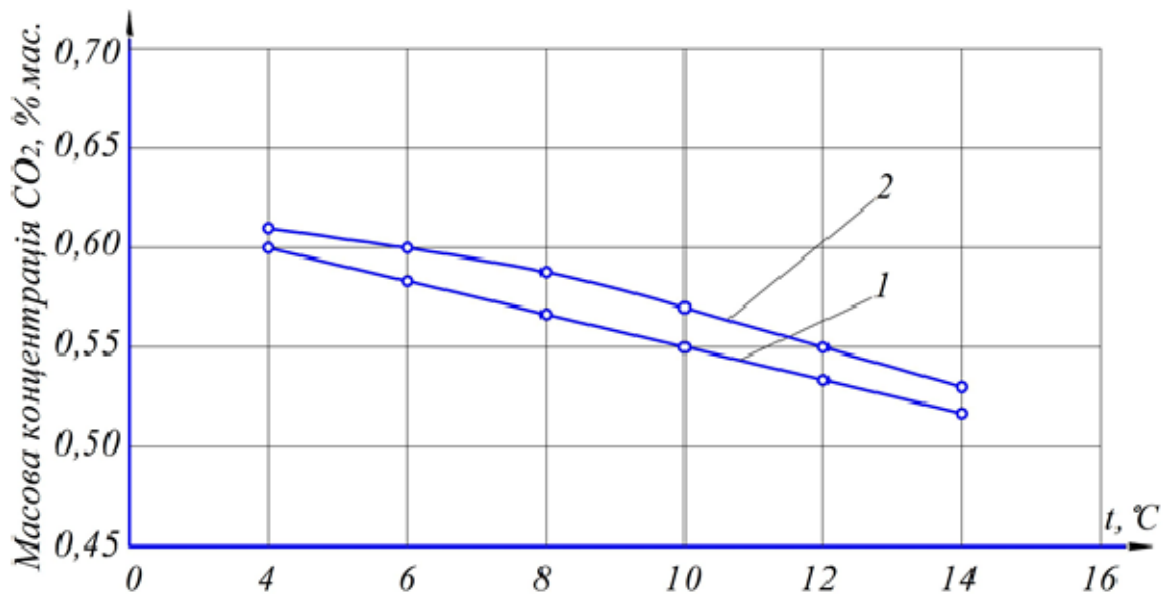


Рис. 4. Графік залежності вмісту CO₂ від температури напою

Витрату діоксиду вуглецю в мінеральній, підготовленій воді та напої змінювали в діапазоні від 5,0 до 9,0 г/дм³ з інтервалом 1 г/дм³. Витрата CO₂ змінювалася задаванням відповідного значення в автоматичний регулятор СЗСУ. Графіки залежності представлені на рис. 5,6 і 7.

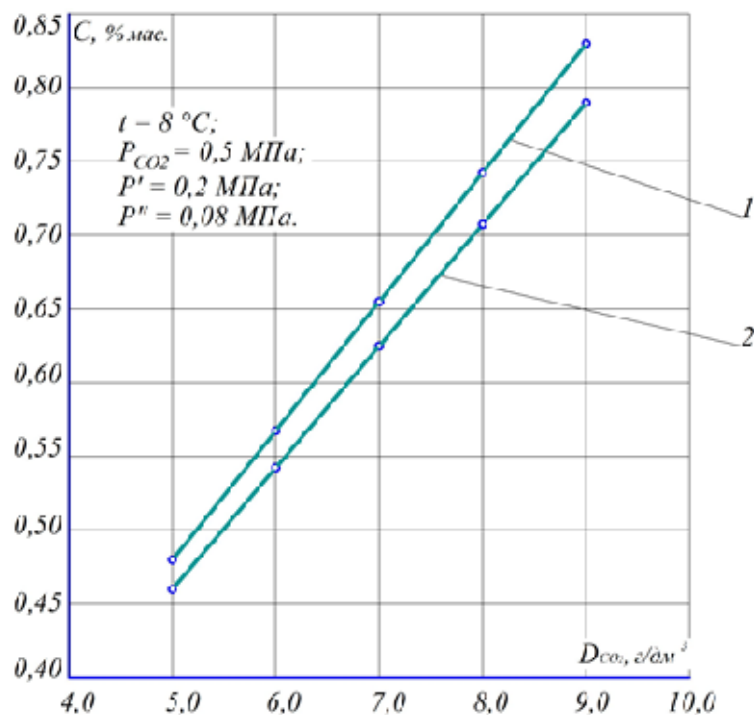


Рис. 5. Графік залежності вмісту CO₂ в мінеральній воді від його витрати

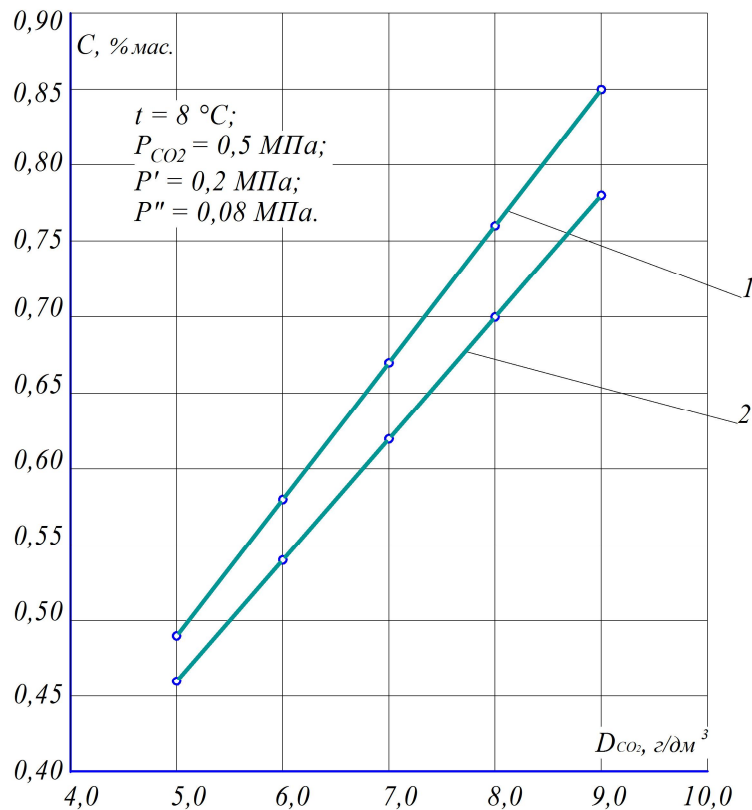


Рис.6. Графік залежності вмісту CO_2 в підготовленій воді від його витрати

В результаті проведених досліджень отримано лінійну залежність вмісту CO_2 в мінеральній воді від його витрати на насичення.

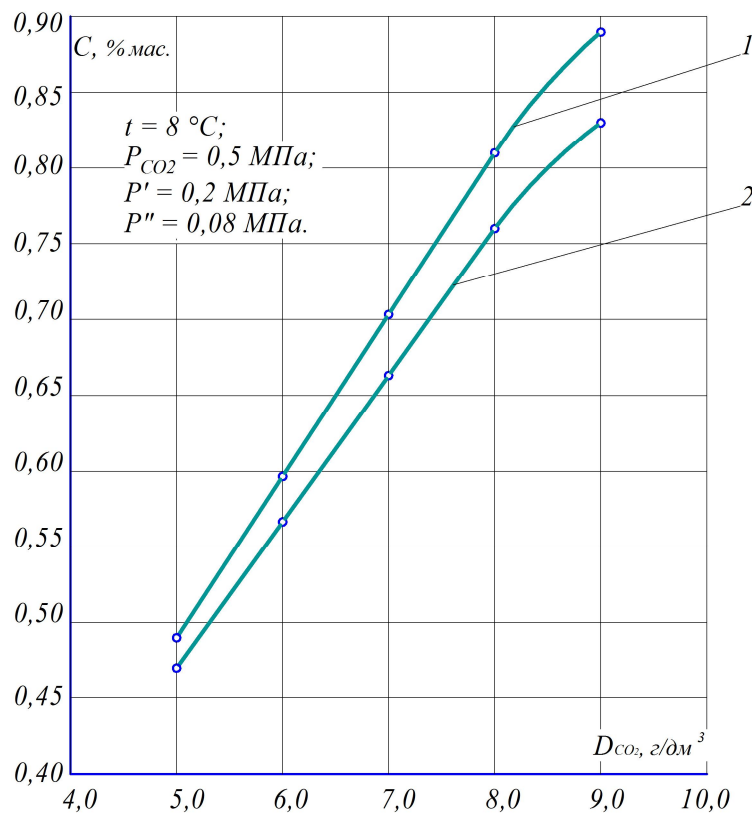


Рис. 7. Графік залежності вмісту CO_2 в напої від його витрати

Порівнюючи обидві конструкції ділянок насичення, можна сказати, що

насичення мінеральної води на ділянці з кавітатором розробленої конструкції вище в залежності від витрати діоксиду вуглецю на $0,02 \div 0,04$ % мас., що свідчить про більш якісний зв'язок «вода- CO_2 » і, відповідно, менші втрати діоксиду вуглецю.

Відповідні дослідження були проведені і для підготовленої води за тих самих умов, що і для мінеральної води. Як видно з графіка (рис. 6) відсутність мінеральних солей у воді позитивно позначилась на насиченні підготовленої води і значення масової концентрації діоксиду вуглецю відрізняються в більшу сторону для обох пристроїв. А різниця вмісту діоксиду вуглецю в підготовленій воді після насичення на цих пристроях складає $0,03 \div 0,05$ % мас. на користь першого пристрою.

Залежність масової концентрації діоксиду вуглецю в фруктових напоях від його витрати вивчали для середньо- та сильногазованих напоїв (рис. 7).

Як видно з графіка в першому випадку при зміні витрати діоксиду вуглецю від $5,0$ до $8,0$ г/дм³ існує лінійна залежність вмісту CO_2 в фруктових напоях від його витрати, а починаючи з витрати $8,0$ г/дм³ і до $9,0$ г/дм³ лінійна залежність переходить в криволінійну, яка надалі поступово спадає. Це пояснюється тим, що при витраті діоксиду вуглецю більше $8,0$ г/дм³ такий об'єм CO_2 при даній температурі вже не може повністю розчинитися в напої. Для іншої конструкції ділянки насичення теж має місце лінійна залежність при витраті діоксиду вуглецю від $5,0$ до $8,0$ г/дм³, а при витраті від $8,0$ до $9,0$ г/дм³ переходить в криволінійну.

На всіх трьох графіках видно, що пристрій розробленої конструкції сприяє кращому розчиненню і утриманню діоксиду вуглецю у воді та напоях, а при однаковій витраті CO_2 це означає менші втрати діоксиду вуглецю. Економія CO_2 можлива із-за зменшення його витрати, оскільки досягти заданий рівень насичення з пристроєм розробленої конструкції можна з меншою на $5 \div 10$ % витратою CO_2 у порівнянні з конструкцією, яка працює за принципом Вентурі.

Залежність вмісту діоксиду вуглецю від складу напою вивчали при зміні

вмісту сухих речовин від 0 до 10,2 г/100 см³.

До складу напоїв входять такі основні компоненти: підготовлена вода, цукор, лимонна та аскорбінова кислоти, ароматизатори, фарбники та ін. Тому були проведені експерименти, щоб дослідити яким чином на насичення впливають ті чи інші компоненти.

Підготовлена вода є основним компонентом напою. На відміну від мінеральної води вона не містить солей жорсткості, які негативно впливають на зв'язок напою з діоксидом вуглецю, але в той же час і не містить ніяких речовин, які б міцно зв'язували і тримали CO₂ у воді.

Також на розчинність діоксиду вуглецю мають значний вплив склад і концентрація розчинених у воді мінеральних солей, речовин колоїдної дисперсності, кислото-лужні характеристики (рН) води. І розчинність CO₂ у воді тільки зменшується із збільшенням в ній мінеральних солей, оскільки при цьому утворюється хімічно зв'язаний діоксид вуглецю, який вступає в реакцію з мінеральними і органічними речовинами. Це невідшкодовні втрати, величина яких в основному залежить від жорсткості води.

Цукор також є одним із основних компонентів, який використовується у виробництві фруктових безалкогольних напоїв. Вміст цукру в напої в незначній кількості сприяє більш тісному з'єднанню напою з діоксидом вуглецю.

Решта компонентів напою: органічні кислоти (лимонна та аскорбінова), композиції, різноманітні ароматизатори, штучні та натуральні барвники (колер) є поверхнево-активними речовинами (ПАР). Вони зменшують поверхневий натяг напоїв і є піноутворювачами в більшій або меншій мірі. При збільшенні вмісту ПАР в напої їх стабілізуюча здатність зростає до певного максимуму і після чого знижується, не дивлячись на подальше зростання їх концентрації [1].

Таким чином, досліді показали (рис. 8), що найкраще підлягають насиченню фруктові напої, які містять в своєму складі крім підготовленої води ще цукор та інші ПАР (органічні кислоти, колер, ароматизатори, різні композиції), які при незначній кількості сприяють кращому зв'язку двофазної системи «напій-CO₂». Мінеральні солі навпаки погіршують цей зв'язок, а тому

мінеральні води насичуються дещо гірше. Підготовлена вода за відсутності мінеральних солей, цукру і ПАР насичується краще за мінеральну воду, але значно гірше за фруктові напої.

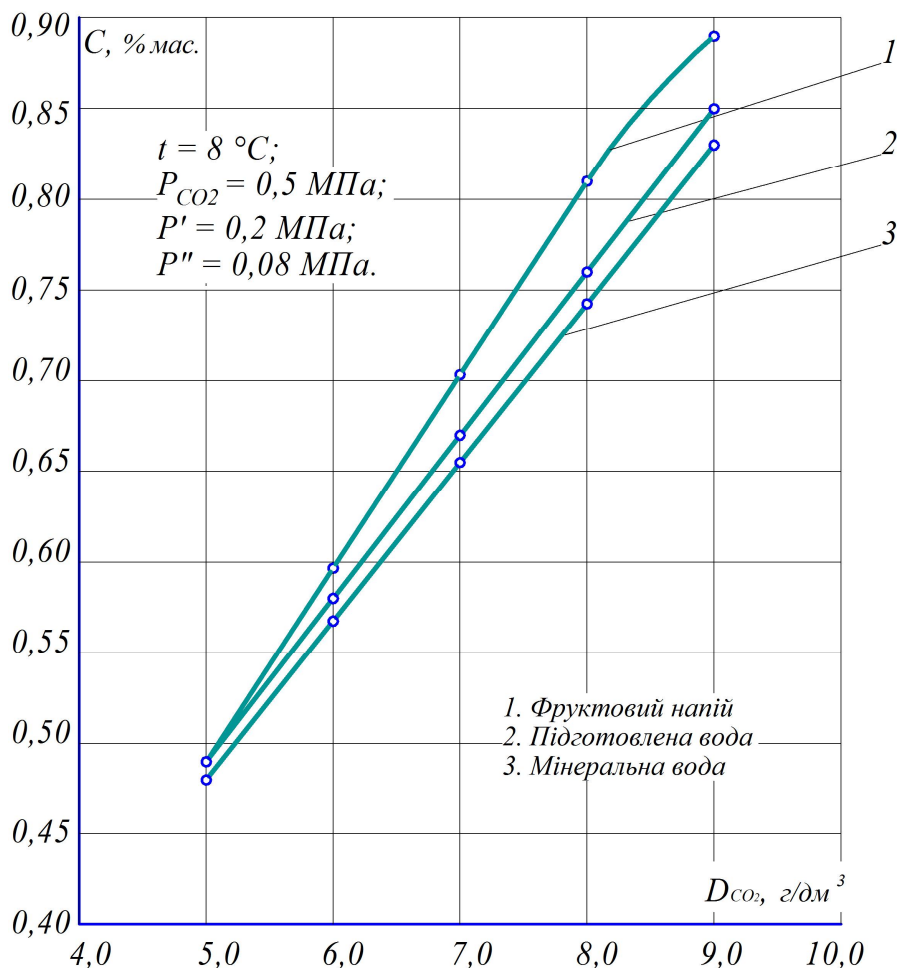


Рис. 8. Графік залежності вмісту CO₂ від складу напою

Присутність повітря у воді та напоях при насиченні має негативний вплив на ступінь їх насичення діоксидом вуглецю. У напоїв існує певна абсорбційна здатність по відношенню до газів, так що кожний розчинений в них газ зменшує можливість розчинення іншого газу.

В даному дослідженні дегазація води відбувається за допомогою холодної вакуумної деаерації з додатковим насиченням води діоксидом вуглецю в двохступеневому дегазаторі.

Як показали дослідження, хоч тиск діоксиду вуглецю для додаткової дегазації та розрідження при дегазації окремо не мають значного впливу на вміст CO₂ в кінцевому продукті, в комплексі вони все ж таки відіграють дуже

важливе значення по видаленню повітря з води, яке заважає якісному проведенню процесу насичення напоїв, що в свою чергу позитивно відображається на якості готових напоїв.

Щоб перевірити наскільки міцний і якісний зв'язок має двофазна система «вода-СО₂» ми провели дослід на визначення залишкового вмісту діоксиду вуглецю у насиченій мінеральній воді. Для досліду було відібрано цілий ряд пляшок з газованою мінеральною водою з початковим вмістом діоксиду вуглецю 0,57 % мас. і залишено на відстоювання в пляшках без ковпачків при температурі навколишнього середовища 20 ÷ 25 °С. Кожну добу проводилася перевірка залишкового вмісту діоксиду вуглецю у воді в цих пляшках. Дослід проводили для мінеральної води насиченої почергово на ділянці насичення з кавітаційним пристроєм розробленої конструкції (1) та ділянці насичення, яка працює за принципом Вентурі (2). Вимірювання залишкового вмісту СО₂ у воді проводили протягом 9 діб.

Як можна бачити з графіка (рис. 9) за перші 3 доби в обох випадках вода втратила 0,05 % мас. діоксиду вуглецю, за решту часу – 6 діб у першому випадку вода втратила 0,02 % мас., у другому – 0,05 % мас. Тобто це говорить про дуже міцний зв'язок між водою і СО₂, як в першому, так і другому випадку. Але в першому він дещо кращий.

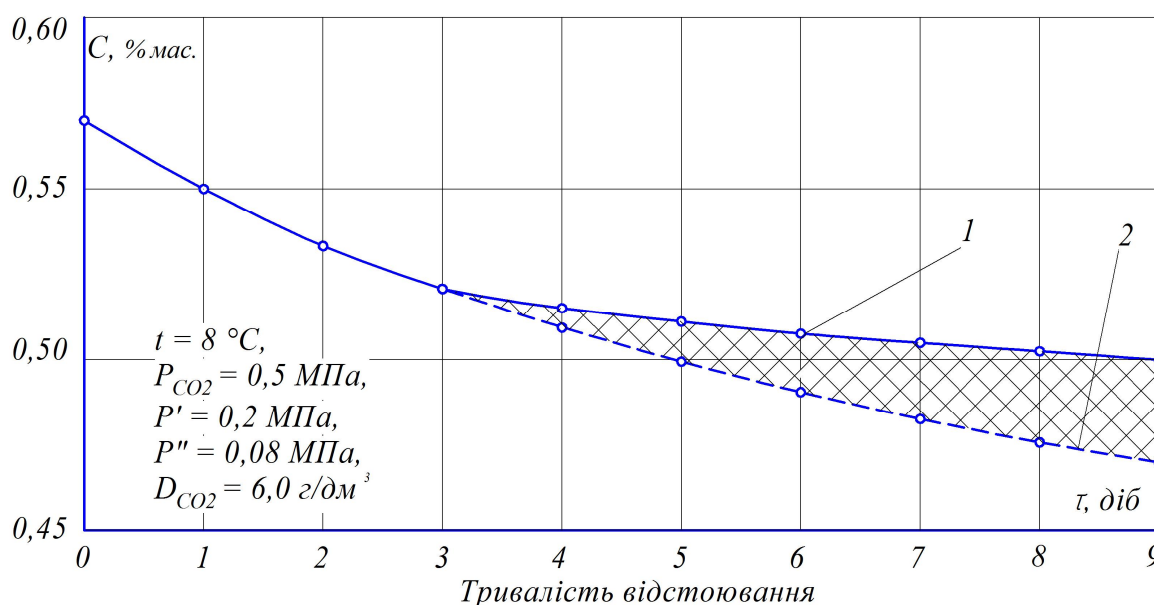


Рис. 9. Графік залежності вмісту CO₂ у воді від тривалості зберігання

Крім того піна у піноутворюючих напоях у 2 ÷ 3 рази стійкіша для напоїв насичених за допомогою кавітаційного пристрою розробленої конструкції у порівнянні з кавітаційним пристроєм Вентурі.

Ще одним підтвердженням міцності зв'язку води і діоксиду вуглецю є те, що під час відкривання пляшки з насиченою мінеральною водою та фруктовими напоями на ділянці насичення з кавітатором розробленої конструкції майже не виділяються бульбашки CO₂, а ті що «грають» дуже дрібні.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновок про доцільність використання ГДК пристроїв зі статичними кавітаторами в складі СЗСУ для насичення напоїв в потоці. Адже характерною особливістю пристроїв такого типу є висока технологічна надійність, відносна простота конструкції, низькі питомі енергетичні витрати на обробку продукту, вони легко автоматизуються. Відсутність лабіринтної робочої поверхні в ємкостях позитивно відображається на антисептичному стані СЗСУ і, головне, вони сприяють інтенсивному та якісному (гомогенному) змішуванню діоксиду вуглецю з напоєм, мають незначні втрати CO₂. За допомогою них досягається висока ступінь насичення напоїв діоксидом вуглецю, підвищується їх біологічна стійкість та підтримується заданий рівень фізико-хімічних показників.

А використання кавітаційного пристрою розробленої конструкції у складі СЗСУ дає гарантію ще більш надійної роботи установки та можливість збільшення поверхні контакту рідинної та газової фаз, підвищення коефіцієнту масопередачі, зниження питомих енергетичних затрат та втрат CO₂, покращення якості продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Абрамзон А.А.* Поверхностно – активные вещества: Свойства и применение. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1981. – 304 с., ил.

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

3. *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.

4. *Литвиненко О.А., Некоз О.І, Немирович П.М.* Кавітаційні пристрої в харчовій, переробній та фармацевтичній промисловості. – К.: РВЦ УДУХТ, 1999. – 87 с.: іл.

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

Стаття надрукована в журналі «Харчова промисловість» № 9 (2010) с. 101-106.