

УДК 663:663.05.

В.І. Маяк, канд. техн. наук, проф.

В.М. Михайлов, д-р техн. наук, проф.

Б.В. Ляшенко, канд. техн. наук

МОДЕЛЬНІ СХЕМИ РОЗРОБКИ НОВИХ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ СПОСОБІВ ВИРОБНИЦТВА ВИСОКОЯКІСНИХ ПАСТОПОДІБНИХ КОНЦЕНТРАТІВ НАПОЇВ (ПКН) І ЦУКАТІВ

Запропоновано модельні схеми розробки нових ресурсозберігаючих способів виробництва високоякісних ПКН і цукатів зі збереженням усіх БАР початкової сировини.

Предложены модельные схемы разработки новых ресурсозберігаючих способов производства высококачественных ПКН и цукатов с сохранением всех БАВ исходного сырья.

The model charts of development of new resourcekeeping methods of production of high-quality PKN and candied fruits are offered with a maintainance all BAR of initial raw material.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У даний час виробництво продукції на основі плодово-ягідної сировини відрізняється суттєвими витратами матеріальних та енергетичних ресурсів. Під час переробки за існуючими технологіями у готовій продукції вміст БАР, як правило, не перевищує 50%. Це обумовлено низкою факторів, серед яких високий температурний режим, а також недосконалість устаткування, що використовується, внаслідок неузгодженості конструктивних і режимних параметрів його роботи зі змінами реологічних властивостей сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що у даний час відсутні схеми виробництва високов'язких концентрованих продуктів, що дозволяють отримувати цукати і ПКН з високим вмістом БАР за незначної втрати сировини і витрати енергії. Однією з причин цього є відсутність системного підходу до створення такої продукції, що насамперед повинен враховувати реологічні властивості вихідної сировини, а також зміни в процесі технологічної обробки. Тому подальші дослідження необхідно зосередити на розробці нових ресурсозберігаючих способів виробництва саме цих продуктів на підставі моделювання послідовності етапів виробництва і встановлення раціональних значень фізико-механічних параметрів на підставі реологічних досліджень.

Мета та завдання статті. Метою дослідження було розробити модельні схеми для створення нових ресурсозберігаючих способів виробництва високов'язких пастоподібних концентратів напоїв і цукатів, що дозволяють максимально зберегти БАР, а також виявити раціональні значення розміру твердих часток і відсоткового вмісту сухих речовин для ПКН і цукатів на підставі результатів реологічних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Опрацювання літературних джерел дозволило розробити модельні схеми розробки нових ресурсозберігаючих способів виробництва високоякісних ПКН і цукатів та їх рецептур (рис. 1, 2). Були вибрані найбільш раціональні процеси переробки з метою збереження всіх БАР початкової сировини. Для цього під час виробництва ПКН для створення високих органолептичних характеристик напоїв приготованих з пастоподібних концентратів, сировину необхідно (рис. 1) заздалегідь тонко подрібнити шляхом протирання і гомогенізації. Наступний етап – обезводнення необхідно здійснювати шляхом уварювання під вакуумом ($p=5...9$ кПа; $t=45...50^{\circ}$ С). За цих умов у продукті зберігаються практично всі БАР. Потім з метою отримання концентрату напою, який має всі необхідні органолептичні і технологічні якості, необхідно здійснити процес купажування шляхом поєднання увареного плодово-ягідного пюре ($p=5...9$ кПа; $t=45...50^{\circ}$ С), що гомогенізує, з цукром, лимонною кислотою, ароматизатором і, якщо необхідно, з харчовим фарбником. Під час виробництва цукатів новим способом, перший етап переробки передбачає вакуумне сушіння сировини ($p=5...9$ кПа; $t=45...50^{\circ}$ С), потім подрібнення, купажування подрібненої сировини з інвертованим сиропом і ароматизатором, формування цукатної маси з різанням на часточки і остаточну сушку. Для знаходження раціональних фізико-механічних параметрів продукту (розмір твердих часток дисперсної фази і відсотковий вміст сухих речовин), необхідних при розробці рецептур ПКН і цукатів, було запропоновано здійснити дослідження реологічних параметрів пастоподібних концентратів і цукатної маси, використовуючи метод направленої регулювання їх основних структурно-механічних характеристик [1-6].

Розмір твердих частинок ПКН впливає на витрати енергії і ефективність процесів його виробництва, таких як перемішування, теплообмін, транспортування по трубах і течія в нагнітачах. У результаті досліджень були отримані залежності структурно-механічних характеристик від розміру частинок і вмісту сухих речовин ПКН і цукатів.

Як видно з графіків (рис.3), усі структурно-механічні характеристики ПКН збільшуються із зменшенням розміру твердих частинок

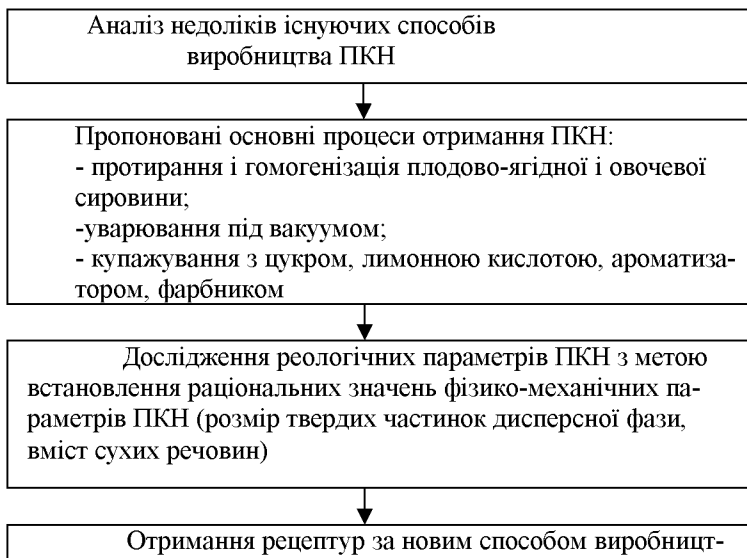


Рисунок 1 – Модельна схема розробки нового ресурсозберігаючого способу виробництва високоякісних ПКН та їх рецептур

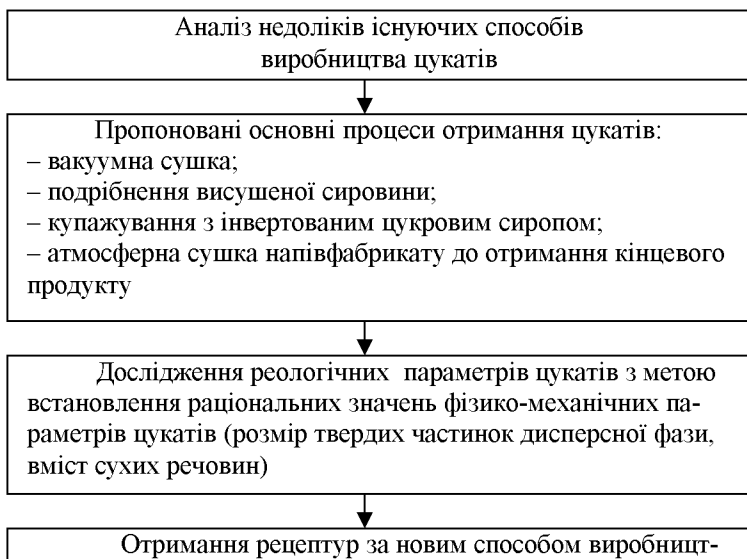


Рисунок 2 – Модельна схема розробки нового ресурсозберігаючого способу виробництва високоякісних цукатів та їх рецептур

від 0,4 до 0,05мм. Темп руйнування структури m змінюється від 0,58 до 0,65, тобто на 12%. Пластична в'язкість $\eta_{пл}$ збільшилася з 5,1 до 10 Па·с, а динамічна межа текучості σ_d з 700 до 880 Па. Межа текучості σ_o виріс з 100 до 320 Па, тобто більш ніж в три рази, ефективна в'язкість при одиничній швидкості V_0^* на 39%, з 200 до 330 Па·с. Збільшення темпу руйнування структури m свідчить про посилення аномальних властивостей пастоподібного концентрату, підвищення його твердформування.

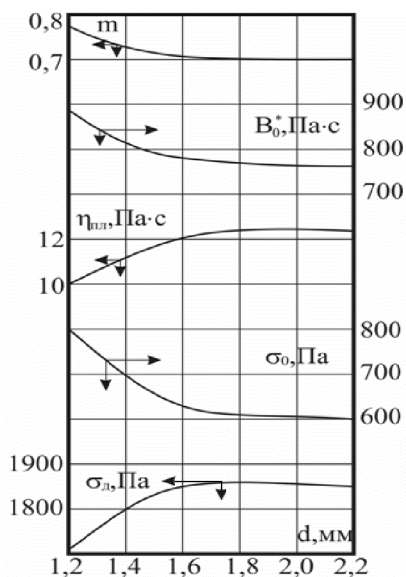


Рисунок 3 – Структурно-механічні характеристики ПКН з різним розміром часток

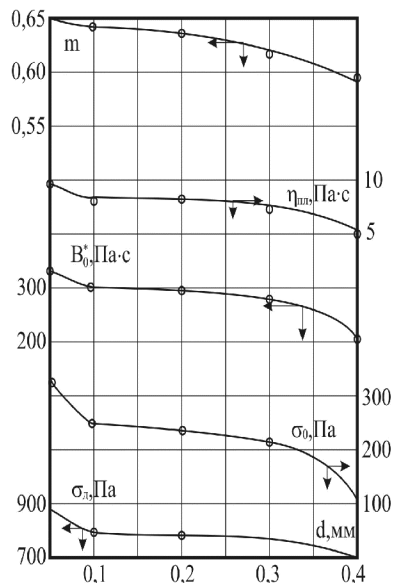


Рисунок 4 – Структурно-механічні характеристики цукатів за різного розміру часток

Характеристики міцності ПКН більшою мірою відображаються значеннями σ_o і B_0^* . Чим більше параметри σ_o і B_0^* (в'язкість продукту), тим міцність структури ПКН вища.

З графіків видно, що міцність структури при зміні розміру частинок від 0,3 до 0,1мм змінюється мало і різко зростає при розмірах частинок менше 0,1мм. При виборі раціонального розміру часток ПКН, який використовується для приготування напою, слід прагнути до як можна менших його значень, оскільки із збільшенням розміру твердих частинок напій швидше втрачає однорідність структури і розшаровується. Проте слід враховувати, що витрата енергії на подріб-

нення із зменшенням розміру частинок різко зростає. Збільшення характеристик міцності ПКН, особливо при розмірі часток менше 0,1мм приведе до зростання енерговитрат на подальшу переробку пастоподібного концентрату (транспортування, перемішування), оскільки витрати потужності пропорційні в'язкості продукту [7]. Керуючись принципом енергозбереження за раціональний розмір твердих частинок ПКН слід прийняти $0,1 \pm 0,01$ мм, оскільки подальше зменшення діаметру частинок пов'язане із значним збільшенням енергетичних витрат і збільшенням собівартості продукту без будь-якого поліпшення його якості.

Як показали експерименти, цукати, отримані за пропонуваними технологіями, на основі подрібненої плодово-ягідної сировини, мають, в більшості випадків, коагуляційну структуру. Тільки в деяких випадках (при максимальних значеннях відсоткового вмісту твердої фази) формується конденсаційно-кристалізаційна структура, що характеризується зниженням пластичності і тиксотропного відновлення структури.

Під час утворення коагуляційної сітки в контактi між частинками дисперсної фази залишається тонкий рівноважний прошарок рідкої дисперсійної фази. Товщина її відповідає мінімуму вільної енергії системи. У разі товстого рідкого прошарку спостерігається слабке коагуляційне зчеплення частинок, міцніше, за умов найменшої її товщини [1].

Нааявність тонких стійких прошарків рідкої фази в ділянках коагуляційного зчеплення частинок, властивого для цукатних мас, що мають високий вміст твердої фази, визначає характерні механічні властивості цукатів, зокрема, здібність до сповільненої пружності і яскраво вираженого пружного наслідку.

Важливу роль у формуванні еластичності зсуву коагуляційної структури та інших механічних властивостей цукатів відіграє розмір твердих частинок дисперсної фази. Із збільшенням цього параметру, зменшується питома поверхня контакту фаз і, одночасно, зростає товщина рідких прошарків між частинками. Розмір частинок впливає на пластичність і міцність структури цукатної маси. У висококонцентрованих коагуляційних структурах (цукатах) залежно від розміру частинок формуються фазові або точкові контакти. Від цього залежить величина площі контактів, їх якість і, в першу чергу, міцність та еластичність структури. У свою чергу, дисперсність структури цукатної маси можна змінювати у процесах переробки, а отже, можна управляти структурно-механічними характеристиками продукту і прогнозувати задані споживчі властивості цукатів.

Для підтвердження висловленого припущення були проведені дослідження стосовно впливу розміру часток дисперсної фази на фор-

мування структури і властивостей цукатів, приготованих на основі подрібненої плодово-ягідної маси.

Формування структури і властивості цукатної маси можна проаналізувати за допомогою основних структурно-механічних характеристик. У результаті проведених експериментів були побудовані графічні залежності основних структурно-механічних характеристик цукатів залежно від розміру твердих частинок дисперсної фази (рис.4). З графіків видно, що темп руйнування структури m за умови збільшення розміру частинок зменшується від 0,76 до 0,70, що говорить про зменшення аномальності властивостей ПКН і наближенні їх до ньютонівської течії.

В'язкість цукатів при одиничній швидкості зсуву V_0^* , Па·с за умов збільшення розміру твердих частинок від 1,2 до 1,8мм різко падає з 830 до 770 Па·с, а потім з подальшим збільшенням до 2,2мм практично залишається постійною. Значення пластичної в'язкості $\eta_{пл}$, Па·с значно міняється в тих же межах розміру частинок. Найбільше падіння цієї величини спостерігається від 1,2 до 1,8мм і складає 25%. Динамічна межа текучості σ_d , Па плавно зменшується в розглянутому діапазоні зміни розміру частинок від 1,2 до 2,2мм. З погляду міцності цукатної маси, найбільш характерними параметрами є межа текучості σ_0 , Па, і одинична в'язкість V_0^* , Па·с. Також як і при зміні в'язкості, значення σ_0 , у разі збільшення розміру часток від 1,2 до 1,8 мм, різко знижується від 720 Па до 600 Па і далі, до значення 2,2 мм, залишається постійним.

Характер зміни значень основних структурно-механічних характеристик цукатної маси, залежно від розміру часток твердої фази, слід пояснити особливостями формування висококонцентрованих коагуляційних структур, до яких належать цукати. Спостережувана зміна структурно-механічних характеристик відбувається залежно від співвідношення фазових і точкових контактів цукатної маси, що формується. За умов зменшення розміру твердих частинок і, відповідно, зростання числа фазових контактів структура цукатів ставати міцнішою, енергія зв'язку в контактах зростає, а тиксотропне відновлення структури зменшується. Просторові дисперсні структури різних типів різко розрізняються по своїх термодинамічних властивостях.

Коагуляційні структури мають відносний мінімум вільної енергії [1], тобто найбільш стійкі при найбільшій механічній міцності – найменшим тиксотропним зміцненням. Конденсаційно-кристалізаційні структури, що утворюються в умовах достатньо високого перенасичення, наприклад, за умови зрощення жорстких частинок (кристалів), можуть виявити досить високу механічну міцність, але термодинамічно нестійкі.

У виробництві пастоподібних концентратів напоїв (ПКН) велике значення має кінцевий вміст сухих речовин у продукті. Величина цього параметра для ПКН може коливатися в межах від 60 до 80% по масі.

Вказаний діапазон вмісту сухих речовин у ПКН обумовлений наступним. При значенні цього параметра нижче 60%, отриманий продукт ПКН вимагає додаткової теплової обробки і герметичної упаковки для забезпечення необхідного терміну зберігання.

У разі якщо вміст сухих речовин у ПКН вище 80% втрачаються технологічні властивості концентрату, під час приготування з нього напою. У цьому випадку, різко зростає час і витрати енергії під час розчинення ПКН у воді.

Структурно-механічні властивості об'єктивно характеризують якісний стан ПКН, який залежить від вмісту сухих речовин, температури і розміру частинок. Досліди проводили при температурі 20° С у діапазоні зміни вмісту сухих речовин у ПКН від 60 до 80% по масі.

За наслідками досліджень були отримані основні параметри реологій залежно від вмісту сухих речовин ПКН.

Аналіз результатів експериментів (рис. 5) показав, що із збільшенням відсоткового вмісту сухих речовин у ПКН, всі основні параметри структурно-механічних властивостей продукту змінюються. Проте, в діапазоні зміни вмісту сухих речовин 60...70%, значення структурно-механічних властивостей міняються трохи і плавно. Так, темп руйнування структури m виріс з 0,59 до 0,64, що свідчить про зміцнення структури, посилення твердоформування ПКН. Пластична в'язкість $\eta_{пл}$ зменшувалася з 11 до 7,7 Па·с. Ефективна в'язкість при одиничній швидкості зрушення V_0^* виросла лише з 270 до 295 Па·с, тобто на 8%. Динамічна межа текучості σ_d залишалася практично постійною, близько 800 Па. Межа текучості σ_0 збільшився в цьому діапазоні всього лише на 3%, з 235 до 243 Па.

У діапазоні від 76 до 80% сухих речовин спостерігалася значна зміна всіх структурно-механічних характеристик ПКН. Темп руйнування структури збільшився з 0,64 до 0,82, тобто на 28 %. Пластична в'язкість зменшилася з 7,7 до 5 Па·с, тоді як динамічна межа текучості збільшилася своє значення з 800 до 900 Па. Найбільше виросли значення параметрів V_0^* і σ_0 . Так, ефективна в'язкість при одиничній швидкості зрушення, V_0^* збільшилася з 295 до 370 Па·с, а межа текучості σ_0 стрімко зростає з 243 до 350 Па, тобто на 30%.

Таким чином, результати експериментів показали, що в діапазоні 60...70% сухих речовин, характеристики міцності ПКН змінюються мало, а в інтервалі 76...80% сухих речовин, міцність структури ПКН різко росте. Із збільшенням міцності енергетичні витрати зроста-

ють, крім того, при великих значеннях цього параметра, в 2...3 рази збільшується час приготування напою з ПКН і, відповідно, витрати на його подальшу переробку зростають. Таким чином, виходячи з принципу енергозбереження, за раціональне значення цього параметра слід прийняти $76 \pm 1\%$.

З метою визначення раціонального значення відсоткового вмісту сухих речовин у цукатах, були проведені відповідні експерименти. Результати дослідів наведені на графіках рис.6.

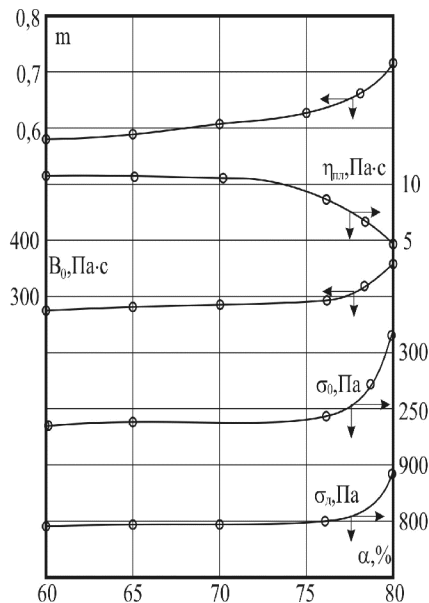


Рисунок 5 – Структурно-механічні характеристики ПКН за різного вмісту сухих речовин

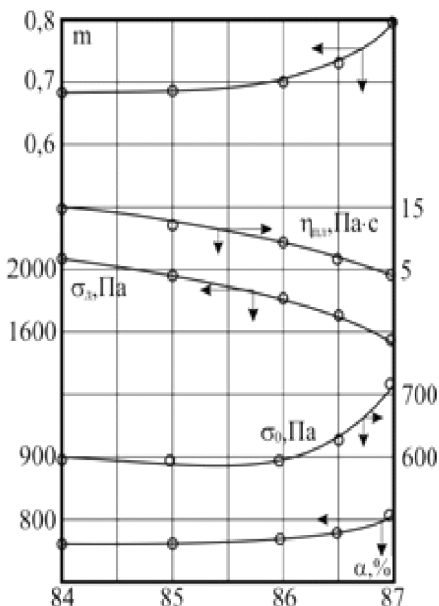


Рисунок 6 – Структурно-механічні характеристики цукатів за різного вмісту сухих речовин

Ефективна в'язкість цукатів при одиничній швидкості, V_0^* , в дослідженому інтервалі зміни відсоткового змісту сухих речовин зростає. Проте характер цього зростання неоднаковий. У діапазоні 84...86% сухих речовин, зростання цього параметра незначне, а в інтервалі від 86 до 87%, спостерігається значне збільшення ефективної в'язкості V_0^* , з 767 до 820 Па·с.

Величина V_0^* , знаходиться в зоні практично незруйнованої структури продукту. Для цукатів в'язкість повинна бути достатньо високою. За невеликих її значень, після формування цукатної маси, отримані брикети погано зберігають форму. У той же час, за великої

в'язкості, під час формування цукатів спостерігаються структурні тріщини та інші подібні дефекти.

Міцність структури продукту характеризується граничною напруженою зсуву σ_0 , і в'язкістю B_0^* . Змінюючи міцність, можна змінити властивості цукатів, що формують. Аналіз графіків рис.6 показав, що значення σ_0 в межах, від 84 до 86% сухих речовин, практично залишається постійним і бурхливе зростання цього параметра починається в діапазоні від 86 до 87%. Такий характер зміни параметра показує, що за умов збільшення вмісту сухих речовин більше 86%, спостерігається якісна зміна структури продукту. У цьому випадку, спостерігається утворення тріщин при формуванні цукатної маси, тому не слід перевищувати значення 86%.

Окрім цього, починаючи з 86%, різко збільшуються в'язкість, властивості міцності продукту. У цих умовах, переробка цукатної маси пов'язана з великими енергетичними витратами. З іншого боку, при значеннях сухих речовин 84...85%, в процесі формування цукатів не завжди зберігається форма продукту (при підвищеній температурі навколишнього середовища 25...28° С продукт «пливе»). Тому, враховуючи принцип енергозбереження, за раціональне значення слід прийняти 86±1% сухих речовин для досліджуваних цукатів.

Висновки. Таким чином, запропоновано модельні схеми для створення нових ресурсозберігаючих способів виробництва високов'язких пастоподібних концентратів напоїв і цукатів із плодово-ягідної сировини, що дозволяють максимально зберегти БАР. Результати реологічних досліджень дозволили виявити раціональні значення розміру твердих часток і відсоткового вмісту сухих речовин для ПКН і цукатів.

Список літератури

1. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П. А. Ребиндер // Физико-химическая механика дисперсных структур. – М. : Наука, 1966. – С. 3–16.
2. Ребиндер П.А. Конспект общего курса коллоидной химии [Текст] / П. А. Ребиндер. – М. : МГУ, 1950. – 112 с.
3. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика – новая область науки [Текст] / П. А. Ребиндер. – М. : Знание, 1958. – 64 с.
4. Измайлова В. Н. Структурообразование в белковых системах [Текст] / В. Н. Измайлова, П. А. Ребиндер. – М. : Наука, 1974. – 286 с.
5. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика [Текст] / П. А. Ребиндер. – М. : Наука, 1979. – 378 с.
6. Metzner A. Agitation of non-Newtonian fluids [Text] / A. Metzner, R. Otto // Am. Inst. Of Chem. Eng. – 1957. – Vol. 3, № 1. – P. 3–10.

Отримано 30.09.2009. ХДУХТ, Харків.

© В.І. Маяк, В.М. Михайлов, Б.В. Ляшенко, 2009.