

# Роль в'язкості в технологічних процесах виробництва цукру

А.Ф. Кравчук, технічний директор, ТОВ Фірма «АВП»

*У статті розглядається проблема дослідження реології соку. Приведені зміни основних параметрів процесу 1-ї сатурації. Показано, що процес 1-ї сатурації має три стадії і є послідовним. Названі деякі проблеми теорії першої сатурації соку. Концептуально дано пояснення інверсії основних параметрів процесу і в'язкості соку при зміні дисперсної структури соку.*

*В'язкість соку, перша сатурація, стадії процесу першої сатурації, інверсія параметрів процесу, послідовність процесу.*

*В статье рассматривается проблема исследований реологии сока. Приведены изменения основных параметров процесса 1-й сатурации. Показано, что процесс 1-й сатурации состоит из трех последовательных стадий. Названы некоторые проблемы развития теории процессов 1-й сатурации. Приведено концептуальное объяснение инверсии основных параметров процесса 1-й сатурации и вязкости сока при изменении дисперсной структуры сока.*

*Вязкость сока, первая сатурация, стадии процесса первой сатурации, инверсия параметров процесса, монотонная последовательность стадий процесса.*

*Juice rheology studies problem is discussed in the article. Changes of the main parameters of the first saturation process are presented. It is demonstrated that the first saturation process consists of three sequential stages. Some problems of the development of the first saturation processes theory are listed. Conceptual explanation of the inversion of main parameters of the first saturation process and juice viscosity while juices disperse structure changes is presented.*

*Viscosity of the juice, first saturation, first saturation process stages, inversion of process parameters, monotonic sequence of process stages*

## Вступ

Більшість технологічних середовищ при виробництві цукру відносяться до дисперсних систем. Засновником реології дисперсних систем вважається наш співвітчизник, професор фізики Новоросійського університету в Одесі Ф.Н. Шведов, який 1889 року опублікував у французькому фізичному журналі свою знамениту працю «Про пружність рідини на зсув». На прикладі 0,5% розчину желатину розповідається про структуровані рідини.

Значну роль в розвитку сучасної реології відіграє американський вчений Є. Бінгам, якого називають хрещеним батьком науки реології. На III-му міжнародному симпозіумі з теорії пластичності (1929 р.) Є. Бінгам запропонував термін реологія як похідний від грецького дієслова  $\rho\epsilon\omega$  – текти й іменника  $\lambda\omicron\gamma\omicron\varsigma$  – наука.

В СРСР реологія почала розвиватись в тридцятих роках XX століття, але до цього часу немає чіткої межі між реологією, з одного боку, теорією пружності, теоріями пластичності й повзучості – з другого.

Реологія тісно пов'язана з новою галуззю науки - фізико-хімічною механікою, розвиток якої визначений в працях П.О. Ребіндера і його учнів. Дослідження середовищ з дисперсною структурою в

цукровій промисловості започаткував І.Г. Бажал [1]. При вивченні питань структуроутворення різних продуктів цукрового виробництва в зв'язку з колоїдними процесами або хімічними реакціями, за рубежом широко використовуються реологічні методи й відповідні прилади.

Знаючи реологічні властивості продуктів виробництва і закономірності їх змін, можна знайти нові принципи управління технологічними процесами, вирішити проблеми контролю і автоматизації цих процесів, знайти правильні рішення при проектуванні устаткування.

Сучасна реологія нарівні з фізико-хімічною механікою закладає фундамент загальнотеоретичних знань і допомагає замінити досліди типу «змішав – спробував» - «погано - викинув»; «зноу змішав – спробував»... тощо, науковими методами вивчення, що ґрунтуються на принципі «спочатку подумав, що треба одержати, а потім зробив, знаючи, що буде».

В міжнародній системі одиниць вимірювання СІ за одиницю динамічної в'язкості  $\eta$  прийнята в'язкість потоку рідини, в якій лінійна швидкість під дією тиску здвигу в  $1\text{Н/м}^2$  має градієнт в  $1\text{ м/с}$  на  $1\text{ м}$  віддалі, перпендикулярного до площини здвигу. Вона має позначення  $\text{Н/м}^2\cdot\text{с}$ , або  $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

## ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

Нагадаємо також про деякі співвідношення між параметрами, пов'язаними з в'язкістю:

- величина, обернена динамічній в'язкості ( $1/\eta$ ) називається текучістю. Вона має розмірність  $\text{м}^2/\text{Н с}$ ;

- кінематична в'язкість визначається шляхом ділення абсолютної динамічної в'язкості на густину рідини чи розчину;

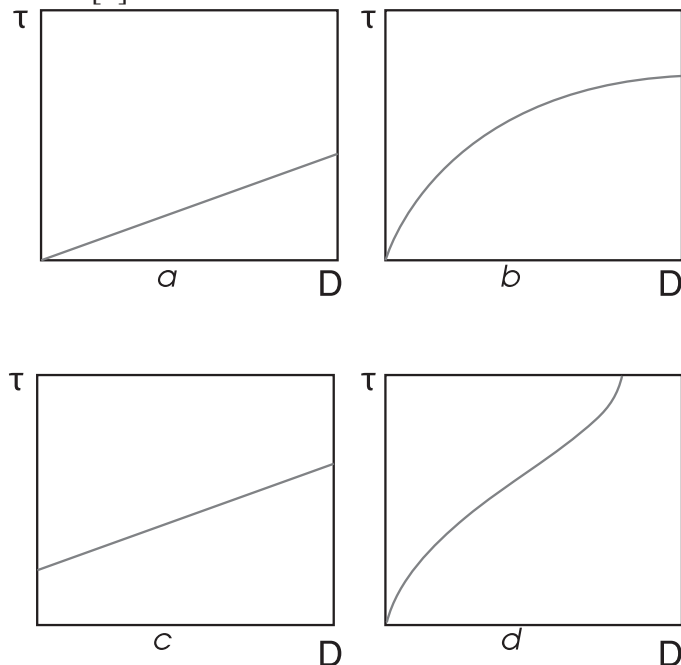
- в'язкість в системі одиниць CGS називалась пуаз; величина в 100 раз менша пуаза називалась сантипуаз.

Маючи дані про динамічну в'язкість в пуазах ми можемо виразити їх в сантипуазах чи в Па с, користуючись співвідношенням  $1 \text{ пуаз} = 0,1 \text{ Па с}$ ,  $1 \text{ сантипуаз} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па с}$ .

### В'язкість цукрових розчинів

Цукрові розчини в тому числі і розчини колоїдної структури ми можемо віднести до гомогенних рідин. Для визначення механічних характеристик рідин і залежності між напругою і деформацією, складають ту чи іншу теоретичну модель.

Karel Сіж вважає, що в цукровій промисловості мають місце такі моделі в'язкості цукрових розчинів [2]:



**Рис. 1.** Реологічні характеристики цукрових розчинів. *a* – модель Ньютона, *b* – модель псевдо пластичних розчинів, *c* – модель Бінгама, *d* – модель структурованих розчинів.  $\tau = \eta D$  – напруга зсуву,  $D = dw/dy$  – швидкість зсуву.

- модель Ньютона (**рис.1a**);
- модель псевдо пластичних розчинів (**рис.1b**);
- модель Бінгама (**рис.1c**);
- модель структурованих розчинів (**рис.1d**).

Дифузійний сік, соки 1-ї та 2-ї сатурації після фільтрації, сироп можемо віднести до моделі ідеально в'язких рідин, або ньютонівських рідин. Такий стан визначається моделлю:

$$\tau = \eta \cdot D \quad (1)$$

де:  $\tau$  – напруга зсуву;

$\eta$  – динамічна в'язкість;

$D$  – швидкість зсуву.

Кожний технологічний процес в виробництві цукру ставить вимоги що до якості вхідного продукту. Відповідно визначається параметр, або параметри, які дозволяють прямо чи не прямо визначити якість рідини чи розчину. Одним з важливих технологічних параметрів є в'язкість. Насправді, чого була б варта люба модель процесу отримання дифузійного соку чи кристалізації цукру без вимірювання в'язкості, бо тоді ми не могли б визначити коефіцієнт дифузії.

Не менш важливою є інформація про в'язкість соку в процесах його очищення. Знаючи що в процесах очищення соку змінюється структура соку від гомогенного до грубо дисперсного рівня, дослідники використовують обмежену кількість технологічних параметрів: лужність, рН, забарвленість, температура і інколи в'язкість соку [3, 4, 5, 6].

Досліджуючи, наприклад, процес двоступеневої і чотирьохступеневої 1-ї сатурації соку, ми отримали послідовну зміну таких параметрів, як лужність, рН, в'язкість при температурі процесу.

На **рис. 2** показана зміна відносної в'язкості - 3, лужності - 2 і рН - 1 в процесі 1-ї сатурації соку в відносному до регламенту часі, [3,4].

Вказані параметри визначають структурні зміни в розчині, пересиченість цукрового розчину відносно СаО, стан розчину за значенням рН.

Кожен з параметрів на протязі процесу 1-ї сатурації має по дві інверсійні зміни, фізико-хімічне пояснення яких на даний час ми не маємо. Якщо допустити, що характер зміни вказаних на **рис. 2** параметрів є випадковим, то потрібно порівняти характер зміни вказаних параметрів, виявлених іншими авторами.

Для прикладу на **рис. 3** приведена зміна технологічних показників соку в процесі періодичної (ступеневої) сатурації, яка отримана в процесі двоступеневої сатурації соку авторами статті [5].

На **рис. 3** не важко замітити, що параметри процесу змінюються аналогічно **рис. 2**, тобто спостерігається монотонний характер процесу з двома рівнями інверсії параметрів.

Доцільно нагадати пояснення авторів суті процесу.

На першій стадії процесу (перший мінімум зміни параметрів на **рис. 3**) згідно з теорією М.І. Дашева утворюються колоїдні частинки карбонату кальцію – міцели. При цьому середовище характеризується надлишком іонів  $\text{Ca}^{2+}$ . Колоїдні частинки мають позитивний заряд і за правилом Панета-Фаянса здатні адсорбувати аніони. Таким чином в результаті фізико-хімічних реакцій на першій стадії створені умови для процесу адсорбції аніонів. В результаті адсорбції утворюються розчинні *вуглекальцієві сахарати*, структура яких призводить до *підвищення в'язкості*. При продовженні процесу сатурації соку друга інверсія лужності має на-

(Примітки автора: золь – (solution - розчин, англ.) - рідинні колоїдні системи з частинками  $10^9$ - $10^7$ м (міцелами), що незалежно переміщуються в розчині; гель (gelatin – желатин) дисперсна система в рідині, яка має орієнтовану структуру частинок (міцел), які можуть утворюватись в результаті злипання золь, мають деякі ознаки твердих тіл [7]).

Зміна в'язкості соку пов'язана із зміною коагуляційної структури соку, а не з концентрацією первинних часток твердої фази, тобто  $\text{CaCO}_3$  [5].

Автори вказують на ступінь карбонізації 50% як квазіоптимальний. Крім того автори вказують на те, що золь характеризується позитивним потенціалом, який компенсується такими нецукрами, як пектин і білок, в результаті чого знак електрокінетичного потенціалу осаду змінюється на негативний.

Особливий інтерес має пропозиція авторів що до ведення процесу 1-ї сатурації без утворення гелю за рахунок інтенсифікації процесу на заключній стадії [5].

Технологічна можливість уникнути утворення гелю за рахунок інтенсифікації процесу карбонізації ускладнюється тим, що гель може мати інше походження, наприклад, структура гелю може виникнути від дії мікробів лейконостоку з утворен-

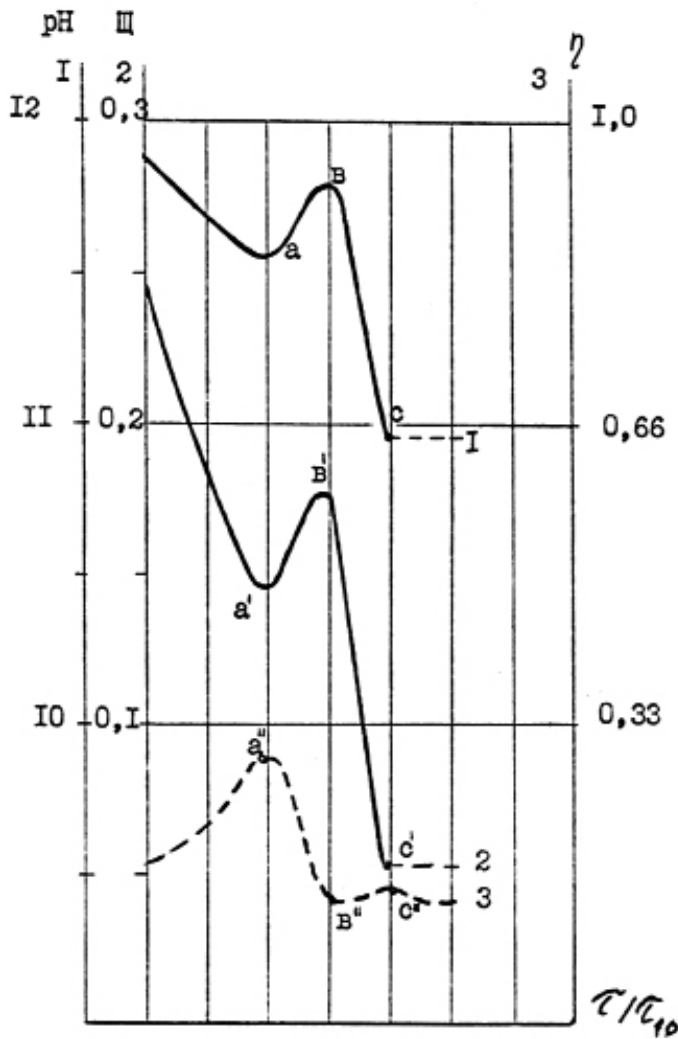


Рис.2. Зміна в'язкості, лужності і рН в процесі 1-ї сатурації соку.

прямою в сторону зниження і обумовлена утворенням крупнокристалічного осаду в розчині. Виходячи з теорії М.І. Даїшева сатурація соку відбувається в дві стадії: нагромадження міцел і їх агрегація [5,6].

З цього випливає, що максимум в'язкості відповідає максимуму концентрації міцел.

Недолік теорії М.І. Даїшева автори статті [5] вбачають в тому, що вона не змогла пояснити присутність не двох, а трьох стадій процесу (рис. 2 і рис. 3). Крім того, автори вважають, що для адекватної оцінки технологічної ситуації стан соку доцільно визначати не лужністю, а ступенем карбонізації. Перша стадія сатурації (як ступінь 40...45 % карбонізації) відповідає утворенню в розчині вільнодисперсної системи, або золю карбонату кальцію. На другій стадії сатурації (ступінь карбонізації 60...65%) золь перетворюється на гель (зв'язана дисперсна система). При подальшій сатурації на третій стадії гель перетворюється в грубо дисперсну систему – суспензію. Подальші дослідження уточнюють, що на другій стадії утворюється коагуляційна структура розчину. Нагромадження міцел, за висновком авторів, не викликає підвищення в'язкості [5]. В'язкість соку зростає, коли міцели коагулюють до утворення гелю.

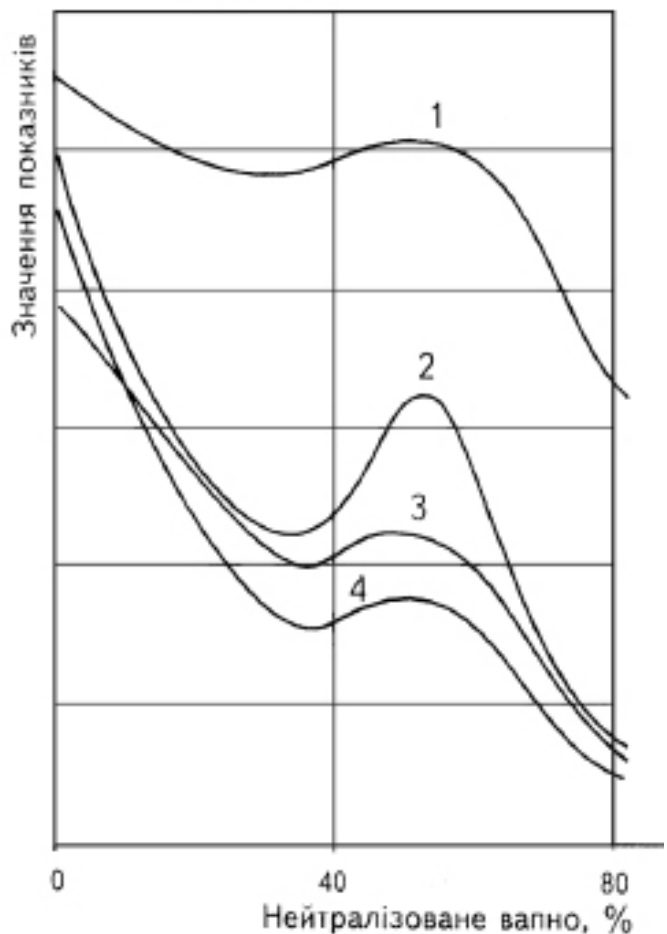


Рис.3. Зміна технологічних показників соку в процесі періодичної (ступеневої) сатурації:  
1 - рН<sub>20</sub>; 2 – лужність; 3 – забарвленість; 4 – вміст солей  $\text{Ca}^{2+}$



## ТЕХНІКА &amp; ТЕХНОЛОГІЇ

ням декстрину.

Бобровнік Л.Д. в своїй монографії також вказує на характер зміни в'язкості соку 1-ї сатурації, подібний до показаного на **рис. 2 і 3** [8].

Шестаковський В.А. в дисертаційній роботі [9] приводить графіки зміни основних параметрів процесу 1-ї сатурації при послідовному проведенні процесу в секційному сатураторі. Характер зміни в'язкості близький до приведенного на **рис. 2**.

Залежність між в'язкістю і рН соку приведена також авторами в статті [10].

Але в названих дослідженнях ми не маємо пояснень, чому інверсія в'язкості має не монотонний, а розривний характер [8, 9, 10].

На наш погляд, визначаючи роль в'язкості в процесі 1-ї сатурації, ми повинні звернути увагу і на розкриття суті процесу карбонізації розчину, виходячи з того що процес проходить в середовищі з основними компонентами: «вода – сахароза – вапно – вуглекислота і інші нецукри», яка розкрита в статті [11]. Основні концепції авторів цієї статті:

*- забарвленість соку і концентрація солей кальцію знижуються на стадії утворення розчинних вуглекальцієвих сахаратів;*

*- вуглекальцієві сахарати блокують активну поверхню частинок гідроксиду кальцію;*

*- вуглекальцієві сахарати, блокуючи активну поверхню частинок гідроксиду кальцію і знижуючи його розчинність, взаємодіють з нецукрами, утримуючи їх на поверхні осаду.*

*- кількість зв'язаних нецукрів залежить від концентрації вуглекальцієвих сахаратів і концентрації гідроксикальцію;*

*- нерозчинні вуглекальцієві сахарати не впливають на зниження забарвлення соку;*

*- на першій стадії процесу сатурації соку (до 40%-ної карбонізації гідроксиду кальцію) швидкість розчинення осаду від-*

*стає від швидкості зв'язування гідроксикальцію;*

*- самим активним на цій стадії залишається іон гідроксикальцію, що веде до утворення нерозчинних вуглекальцієвих сахаратів;*

*- іони  $Ca^{2+}$  приймають участь в реакціях утворення нерозчинних вуглекальцієвих сахаратів, дія яких підсилюється при карбонізації від 35-40 до 60-65%-ої карбонізації;*

*- золь утворюється при карбонізації, більший 50%; при цьому система характеризується максимальною в'язкістю, підвищенням лужності і забарвлення соку [10].*

В зв'язку з тим, що попереднє пояснення процесу зв'язане з поверхневими іонами міцел, ми маємо можливість розкрити суть дисоціації в стані насичення цукрового розчину вуглекислотою. Але ця задача являється прерогативою спеціалістів з коллоїдної хімії.

Щоб оцінити успіхи в цій проблемі, ми повинні згадати про стан проблеми, який І. А. Кухаренко оцінив в 1936 році: «... о поведении коллоидного содеражимого диффузионного сока в условиях дефекасации в настоящее время почти ничего неизвестно...».

Сьогодні, узагальнюючи наведені пояснення процесу 1-ї сатурації соку, ми повинні відмітити, що теорія цього процесу ще не розкрита до рівня кінетичної моделі.

Що може дати інформація про в'язкість в процесі 1-ї сатурації соку для розвитку теорії цього процесу?

З нашої точки зору в'язкість є дуже чутливим параметром що до зміни структури соку.

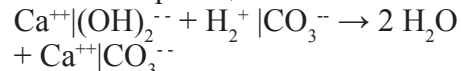
Процес двоступеневої сатурації має практичну реалізацію на цукровому заводі ім. Цюрупі.

Досвід аналізу стану соку після першої ступені сатурації, а також визначення лужності соку без фільтрації і після фільтрації через паперовий фільтр реаль-

но вказує на стан соку як що до дисперсної структури соку, так і що до його лужності. Крім того на протязі багатьох років сік 1-ї сатурації фільтрується в режимі прямої фільтрації на фільтр-пресах.

Доцільно згадати про ізоелектричну точку в розчинах і швидкість досягнення нульового потенціалу. Як досягти умов процесу, щоб мати мінімум СаО в розчиненому стані, який надалі «тормозить» ріст кристалів СаСО<sub>3</sub> в присутності сахарози? Причина – в три рази розчинність Са(ОН)<sub>2</sub> вища в присутності сахарози, ніж у чистій воді.

Виходячи з того, що на процес 1-ї сатурації входить дифузійний сік в складі «вода + сахароза + Са (ОН)<sub>2</sub>» та інші нецукри і цей склад соку певний час насичується СО<sub>2</sub>, як основним реагентом, то слід розглядати основні реакції цього процесу. Ми маємо інформацію, що проходять процеси дисоціації молекул та іонів на прості, наприклад атомарні частинки. Причиною дисоціації в нашому випадку може бути температура та електrolітичні зміни в такому розчині (вводимо в лужне середовище СО<sub>2</sub>, який в реакції з водою дає вуглекислоту, проведений процес гарячої дефекації). Після дефекації 90% вапна знаходиться не в розчині, а в осаді. Вуглекислота, що утворилась, реагує з вапном за реакцією:



Створюються умови переходу вапна з осаду в розчин, бо утворилась гідрокарбонатна іонна структура. З накопиченням в розчині Са<sup>++</sup>|СО<sub>3</sub><sup>-</sup> він починає осідати, утворюючи структуру гелю (максимум в'язкості), а потім при достатньому зниженні лужності утворюється кристалічний осад СаСО<sub>3</sub>, що веде до зниження в'язкості.

З другої сторони ми маємо наявність в розчині міцелярної структури компонентів і стверджуємо про наявність процесу

коагуляції міцел, тобто процес кристалізації  $\text{CaCO}_3$  проходить в умовах коагуляції міцел. (Примітка автора: міцела – окрема іонізована частинка дисперсної фази золю. Розрізняють міцелярні структури, які не кристалізуються і структури, що ведуть до утворення кристалів. Люофобні гідрозолі стабілізуються електролітами. Ядро має два слою протилежно заряджених іонів. Іони адсорбційного слою – заряди одного знаку і частина протиіонів. В дифузійному шарі – протиіони. При переміщенні заряд міцел зростає.)

З третьої сторони на вхід процесу 1-ї сатурації ввійшли сахарати і в процесі кристалізації  $\text{CaCO}_3$  повинен проходити процес гідролізу сахаратів в зв'язку з тим, що після процесу гарячої дефекації з'являються кислотні радикали, а в процесі 1-ї сатурації утворюється вуглекислота.

Відомий вчений Ян Мартен де Бруін вказує на відсутність гідролізу сахарози в процесах дефекації в зв'язку з тим, що існує небезпечний рівень трьох параметрів в трикутнику гідролізу сахарози (рН, температура, час процесу) [12]. При цьому, назвавши спочатку, що сахароза найбільш стійка при рН близько 8.0, а її гідроліз зростає за експоненційною залежністю при підвищенні температури і часу перебування; надалі стверджує про відсутність гідролізу сахарози.

Незалежно від цього в'язкість є достатньо інформативним параметром для структури і такого середовища.

Показаний на **рис.2** характер зміни основних параметрів процесу 1-ї сатурації потребує також пояснення з точки зору інформації про в'язкість соку.

Узагальнюючи приведену інформацію [4, 5], ми можемо стверджувати, *що процес 1-ї сатурації проходить три стадії.*

Ще в 1915 році американський хімік Бостонського університету А.Д. Літл в одній

із доповідей сказав: *«Всякий процес хімічного виробництва, яким би не був його масштаб, може бути розкладений на ряд процесів, які ми можемо називати «основними операціями...»* [13]. Користуючись цим принципом, розглянемо концептуально стадії процесу 1-ї сатурації.

#### *Стадія перша*

Параметри: рН, лужність, забарвленість, вміст катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  - *знижуються.*

*Відносна в'язкість соку – зростає. Що являється основною причиною зростання в'язкості соку?*

З нашої точки зору це такі причини:

- *в процесі сатурації сік переходить до міцелярної структури здатної до коагуляції* [5],

- *іонізована міцела при переміщенні захвачує свої іони в результаті чого в'язкість гідрозольної структури зростає* [14],

- *вапно переходить із осаду в розчинний стан, а потім в осад структури гелю;*

- *збільшення кількості структури соку в формі розчинних вуглекальцієвих сахаратів.*

В зв'язку з тим, що друга стадія процесу проходить в міцелярній структурі, на що вказується також в статті [15] відносно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , дослідження структурних змін міцел насиченого стану в водних розчинах і в розчинах технологічного складу мають майбутнє.

Duclaux J. приводить таке визначення міцели: *міцела – це зольне ядро з іонізованою оболонкою* [14]. Ядро не має іонізованих молекул. Подвійний електричний шар має бути зрівноваженим за потенціалом з позитивним зовнішнім зарядом. Подвійний електричний шар і адсорбційний шар мають різну структуру і властивості. Подвійний електричний шар відноситься до поверхні золя для міцелярних структур, які надалі кристалізуються.

Визначення міцели по

J. Duclaux дещо відрізняється від визначення, яке приведено в статті [15] відносно дифузійного і позадифузійного прошарку, виходячи з рушійних сил коагуляційних процесів і іонних реакцій. Структури міцел і їх властивості в цукрових дисперсних розчинах ще недостатньо досліджені.

#### *Стадія друга*

Параметри: рН, лужність, забарвленість, вміст катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  - *зростають, а в'язкість соку знижується (рис. 2).*

Інверсія в'язкості означає що наряду з гідролізом сахаратів, електрокінетичний потенціал іонізації міцел починає наблизатись до нуля і наступає стан насичення. Причиною цього є відповідна зміна в процесі через реакції взаємодії іонів. В результаті цих відомих реакцій кількість вільних іонів водню зростає (дисоціація води [16]) і зростає перехід  $\text{CaO}$  в розчин, підвищуючи його лужність. Виходячи з міцелярної теорії розчинів наявність процесів дисоціації, коагуляції міцел і гідролізу вуглекальцієвих сахаратів не визиває сумнівів. Принципово ці реакції є відомими. Вапно, що розчинилось, дисоціює на іони  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{OH}^-$ . Знижується поверхня адсорбції, тому підвищується забарвленість соку. Кількість іонних і хімічних реакцій на цій стадії значна. Коагуляція міцел і їх кількість зростає. Під дією вуглекислоти розчинена частина вапна утворює спочатку розчинений  $\text{CaCO}_3$ , який надалі переходить в кристалічну форму в умовах гідратації розчину.

Друга інверсія параметрів процесу і в'язкості вказує на те, що процес перейшов в стадію кристалізації кристалогідратів карбонату кальцію і адсорбції нецукрів на поверхню утворених кристалів  $\text{CaCO}_3$ .

#### *Стадія третя.*

Третя стадія процесу починається з інверсії в'язкості і основних параметрів процесу.

Параметри: рН, лужність,

## ТЕХНІКА & ТЕХНОЛОГІЇ

забарвленість, вміст катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  - *знижуються*, а *в'язкість дещо зростає* (рис. 2).

Стадія характеризується масовою кристалізацією  $\text{CaCO}_3$  з позитивним потенціалом кристалів і адсорбцією на них компонентів нецукрів. Підвищення в'язкості соку на цій стадії має наступне пояснення:

- вміст кристалів  $\text{CaCO}_3$  перевищує 20%;
- надлишок лужності соку веде до надлишку сахаратної структури в соку.

Нагадаємо, що вуглекальцієвий сахарат не є хімічним з'єднанням, а утворюється структура гелю взаємодією  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  і сахарози з  $\text{CaCO}_3$  в умовах, коли рН більше 11 і лужність більше 0,10% СаО. Це приводить до певного блокування кристалізації  $\text{CaCO}_3$ . Процес «розблоковується» при рН = 11,0 і лужності 0,07...0,06% СаО. Теоретична суть цього стану, як і іонних і хімічних реакцій в дисперсних системах соку потребує подальших досліджень.

Роль в'язкості при дослідженні процесів дефосатурації в дисперсних системах є процесно важливою. Вимірювання в'язкості соку і суспензій повинно бути введеним в число параметрів контролю технологічних регламентів.

Досліди і аналіз літературних джерел вказують на те, що процес 1-ї сатурації являється послідовним і має три основних стадії:

- абсорбція  $\text{CO}_2$  водою соку з утворенням вуглекислоти, перехід вапна з осаду в розчин + утворення структури розчинних вуглекальцієвих сахаратів;
- дисоціація компонентів + коагуляція міцел + гідроліз сахаратів;
- кристалізація гідрокарбонатів кальцію + адсорбція компонентів нецукрів.

Стадії процесу мають інверсійні монотонні зміни в'язкості і домінуючих параметрів процесу.

Домінуюча роль в'язкості соку і суспензій проявляється також при фільтрації чи відстоюванні соку тому, що результат процесу сатурації соку оцінюється по якості фільтрату соку.

Відсутність моделі кінетики процесу 1-ї сатурації збільшує кількість дослідних варіантів технологічних схем і регламентів та методів «лікування» процесу добавками нецукрів нехарчового походження (флокулянти, додаткові реагенти з позитивним зарядом, надлишок вапна, «КРОСС-5», дігідрофосфат амонію, гідроксид алюмінію, декстраназа і інші).

Як впливають ці добавки на фізико-хімічний стан сахарози і нецукрів і їх кінцеву ефективність як каталізаторів процесів необхідно дослідити. Зміна в'язкості при цьому теж буде інформативною. ■

### Список використаних джерел

1. *Бажал И.Г.* Исследование механизма ре-

кристаллизации в дисперсных системах. / Автореферат диссертации д.т.н. К : 1972. – 41 с.

2. *Karel Číž.* Reologicke vlastnosti cukrovin I. / Listi Cukrovarnické 92/ 1976. - S. 79-82.

3. *Создать автоматизированные системы управления технологическими процессами свеклосахарного производства на базе микропроцессорной техники.* /ВНИИСП. – Отчет по НИР. – отдел АПП. – К : - 1991. - 256 с.

4. *Способ автоматического управления процессом сатурации дефекованного сока в многосекционном сатураторе.* /А.Ф. Кравчук, К.Д. Скорик, И.Б. Петриченко, О.Д. Куриленко //А.С. № 1493677. – 1989. - Бюл. № 26.

5. *Панкін Л.І., Хомічак Л.М., Петріченко І.Б.* Введення двоступеневої 1-ї сатурації. // Цукор України. - 1996. - № 4. – С. 23-24.

6. *Дашіев М.И.* Исследования по повышению эффектов очистки и кристаллизации в сахарном производстве. /Автореферат диссертации д.т.н. – К : - 1974. – 49 с.

7. *Советский энциклопедический словарь.* / Гл. редактор А. М. Прохоров. – М : - «Советская энциклопедия». – 2-е изд. – 1982. – 1600 с

8. *Бобровник Л.Д.* Физико-химические основы очистки в сахарном производстве. / К : - «Вища школа». -1994. – 255 с.

9. *Шестаковський В.А.* Исследование технологических показателей соков при различных вариантах аппаратного оформления первой сатурации. /Автореферат диссертации к.т.н. – К : 1979. – 26 с.

10. *Бобрівник Л.Д.* Утворення та руйнування кальцій-карбонатно-сахарозних комплексів у процесі карбонізації вапно-сахарних розчинів. / Л.Д. Бобрівник, В.М. Логвін, В.Ю. Виговський. - // Цукор України. – 2011. - № 3. – С. 34-39.

11. *Озеров Д.В.* О карбонизации известково-сахарных растворов. /Д.В.Озеров, В.Н. Антоновский, А.Р. Сапронов, И.А. Хлыстов, В.В. Воронин, Н.К. Шелухин. // Сахарная промышленность. – 1994. - № 4. – С. 12-13.

12. *Ян Мартен де Бруин.* Этот пленительный сладкий мир технологии сахара, никогда не скучный. / Сахар и свекла. – Bartsens. – 1/2013, - С. 5–18.

13. *Cathala I.* La Genie'Chimique et son Enseignement aTooloose. /1962. - Tooloose.

14. *Duclaux J.* The Osmotic Pressure of Colloidal Solutions. / Colloid Chemistry. // Alexsander./ Vol. 1. – 1936. – 515 p.

15. *Вапняне молоко в цукровому виробництві: уявне та дійсне.* / Л.В. Верченко, Л.М. Хомічак, С.В. Ткаченко, Н.В. Сидоренко. // Цукор України. – 2013. - № 2. – С. 18-22.

16. *Савостин А.В., Литовш А.Н.* Вода в технологии очистки сахаросодержащих растворов, // Сахар. – 2005. - № 4. – С. 47-48.