

УДК 663.81.067

ПІДВИЩЕННЯ ФЛОКУЛІРУЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ МАКРОМОЛЕКУЛ ПРИ ОСВІТЛЕННІ ФРУКТОВИХ СОКІВ

Погребняк В.Г., д.т.н,
Перкун І.В., аспірант*

*Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського*

Тел/факс (062)304-83-16

Анотація - Показано, що за допомогою впливу гідродинамічного поля на полімерний флокулянт ПЕО можна різко збільшити швидкість і ступінь освітлення яблучного і виноградного соків, що має як наукове так і практичне значення при вирішенні ряду задач товарознавства.

Ключові слова - освітлення, фруктовий сік, флокуляція, макромолекули, гідродинамічне поле.

Постановка проблеми. Для здобуття прозорого фруктового соку проводять його освітлення з метою видалення дисперсних частинок і поліпшення його товарного вигляду. Освітлений фруктовий сік ще і краще вгамовує спрагу. Залежно від конкретних технологічних умов застосовують, як правило, наступні способи освітлення фруктових соків – фізичні, біохімічні і фізико-хімічні. До фізичних відносяться: проціджування, відстоювання, сепарація. До біохімічних – обробка ферментами. До фізико-хімічних: обробка бентонітом, органічними і рідше синтетичними флокулянтами, миттєвий підігрів та ін.[1].

Якщо фізичні і біохімічні способи освітлення фруктових соків досить добре вивчені, то фізико-хімічні способи вимагають додаткових досліджень, особливо це стосується освітлення фруктових соків з використанням синтетичних флокулянтів, таких як поліетиленоксид і поліакриламід.

Аналіз останніх досліджень. Раніше одним з авторів теоретично було передвіщено [2] нове явище, яке полягає в підвищенні флокуліруючої здатності макромолекул під дією гідродинамічного поля, що розтягує.

*Погребняк В.Г., д.т.н, Перкун І.В., аспірант

Науковий керівник - д-р техн. наук, проф. Погребняк В.Г.

Виявлений факт впливу гідродинамічної дії, включаючи і вплив турбулентності, на флокуліруючу здатність лінійного гнучколанцюгового полімеру в розчині відкриває можливість для розробки ефективних пристроїв, що дозволяють різко збільшувати швидкість і ступінь освітлення колоїдних систем, що має, без сумніву, як наукове так і практичне значення при вирішенні багатьох задач товарознавства і екології.

Таким чином, істотний резерв підвищення флокуліруючої здатності макромолекул, а, отже, і всього процесу флокуляційної обробки фруктових соків (і інших рідин) полягає не лише в розробці і вдосконаленні самих флокулянтів, але і у значній мірі в удосконаленні старих і розробці нових технологічних процесів очищення соків від зважених частинок і забруднюючих речовин за допомогою полімерних флокулянтів. Впровадження методу гідродинамічного управління флокуліруючою здатністю макромолекул при освітленні фруктових соків, зокрема, при використанні синтетичного полімерного флокулянту поліетиленоксиду (ПЕО) повинно привести до покращення якості фруктових соків і їх безпеки. Дуже важливо і те, що ПЕО має клас небезпеки – 4 (безпечна речовина) і дозволений для використання в харчовій промисловості.

Формування цілей статті. Досліди, про які йдеться в даній роботі, ми поставили сподіваючись досягти деякої ясності в питанні про природу механізму підвищення флокуліруючої здатності макромолекул під дією гідродинамічного поля. З'ясувавши механізм цього раніше невідомого явища, можна сподіватися на високоефективне використання гідродинамічного управління флокуліруючою здатністю макромолекул при освітленні фруктових соків. Для перевірки вищесказаного і були поставлені досліди з гідродинамічної активації водних розчинів ПЕО в процесі освітлення яблучного і виноградного соків.

Основна частина. Флокуліруюча дія макромолекул залежить, в першу чергу, від їх молекулярної маси і гнучкості ланцюга, термодинамічної якості розчинника, змісту та природи дисперсної фази. У свою чергу молекулярна маса, гнучкість ланцюга і термодинамічна якість розчинника визначають розміри макромолекулярних клубків, тобто їх конформацію у розчині. Основним механізмом флокуляції можна розглядати створення полімерних містків між дисперсними частинками через молекули адсорбованого (хемосорбованого) полімеру. Містковий механізм флокуляції припускає, що основними характеристиками флокулянтів, які суттєво впливають на інтенсивність флокуляції, є їхня молекулярна маса, гнучкість полімерного ланцюга, якість розчинника і їх концентрація в розчині. Як правило, із збільшенням молекулярної

маси флокулянта їх флокуліруюча дія підвищується, що дозволяє знизити його концентрацію. Це обумовлено можливістю великих макромолекул пов'язувати більше число частинок у флокули за допомогою полімерних містків між частинками. Розрахунки показують, що дворазове збільшення розмірів макромолекул повинно викликати підвищення інтенсивності флокуляції на один-два порядки. Все це свідчить про те, що флокуліруюча дія макромолекул однієї і тієї ж молекулярної маси залежить від величини поверхні макромолекулярного клубка, тобто його конформації, яка визначається гнучкістю ланцюга. Гнучкість ланцюга можна змінювати температурою, розчинником, коли існують специфічні взаємодії полімер-розчинник, а також впливом на систему гідродинамічного поля. [3,4].

Проблема впливу поздовжнього гідродинамічного поля на гнучкість ланцюга, а, отже, і на флокуліруючу дію макромолекул зводиться до наступного основного принципу. Ступінь витягнутості (або згорнутості) гнучкої макромолекули можна характеризувати параметром β , що дорівнює відношенню відстані між кінцями макромолекули h до її контурної довжини L . З позицій термодинаміки і фізичної кінетики параметр β має більш фундаментальне значення, ніж параметр Флорі f : справа в тому, що тут в "гру" вступає теорія дисипативних структур і біфуркація Пригожина після досягнення деякого критичного значення β^* . Причому зовсім неважливо, яким шляхом β^* досягнуто, навіть ізольована макромолекула втрачає стійкість по відношенню до розподілу поворотних ізомерів і розпрямляється.

Отже, якщо в системі гнучколанцюгових макромолекул якимось чином, наприклад, під дією течії з розтягом, досягнуті надкритичні значення $\beta > \beta^*$, в розчинах полімерів, що кристалізуються, можуть утворюватися надмолекулярні сполуки за механізмом нуклеації, а в розчинах полімерів, що не кристалізуються - за спінодальним механізмом. [5]. У термінах теорії Пригожина при β^* система перетерплює біфуркацію і переходить з термодинамічної на нетермодинамічну гілку, де стійкою формою стають надмолекулярні сполуки.

Сказане дозволяє стверджувати, що під дією гідродинамічного поля, що розтягує можна підвищити флокуліруючу здатність макромолекул, тобто не змінюючи молекулярну масу полімерного флокулянту підвищити інтенсивність флокуляції та / або істотно зменшити його оптимальну концентрацію.

Зіставлення отриманих полів швидкості і їх градієнтів, картин течії та результатів вимірювань ступеня розгорнутості

макромолекулярних клубків, а також вимірних характерних часів розчинів полімерних флокулянтів з'ясовано динаміку макромолекул в гідродинамічному полі з розтягом. Встановлено, що при сходячій течії в закритичному режимі для області концентрацій, що лежать між дуже розбавленими і помірно концентрованими розчинами, відбувається досить сильний деформаційний вплив поля на молекулярні ланцюги. Відношення виміряного двозаломлювання проміння Δn до гранично можливого Δn_{∞} при впливі на макромоллекули гідродинамічних полів, що генеруються при вільно сходячій течії, досягає 0,33, а при суперпозиції двох протилежно спрямованих сходячих потоків - 0,8-0,95, що відповідає ступеню розгорнутості полімерного ланцюга $\sim 60\%$ і 90-100% відповідно [3,6].

Стрибкоподібна зміна $\frac{\Delta n}{\Delta n_{\infty}}$ зі зростанням поздовжнього

градієнту швидкості свідчить про те, що вплив гідродинамічного поля призводить до конформаційної нестійкості макромолекулярних ланцюгів, а перехід клубок-розгорнутий ланцюг є фазовим переходом 1-го роду [6].

Поздовжній градієнт швидкості реалізується при протіканні полімерного розчину через короткі капіляри або щілини [3]. Тому наявність ефекту впливу поздовжнього градієнта швидкості на флокуліруючу дію макромолекул можна перевірити за допомогою порівняльного експерименту за впливом умов протікання розчину полімеру через капіляри, що мають різну геометрію вхідної області - одна з кутом входу 180° (крива 1 рис.1), а друга - соплом Лавалля (крива 2 рис.1). З даних, отриманих в роботі [3] випливає, що для першого капіляра на закритичних режимах ступінь розгорнутості полімерного ланцюга може складати $\sim 60\%$, а для другого - практично дорівнює нулю. Тому можна було очікувати, що для випадку, коли розчин полімерного флокулянту вводився в фруктовий сік через перший капіляр, інтенсивність флокуляції повинна бути більшою через збільшення розмірів молекулярних клубків під дією гідродинамічного поля, ніж у випадку з другим капіляром. Однак, проведений нами експеримент не підтвердив це припущення.

Отриманий нами в розглянутому випадку негативний результат у першу чергу пояснюється кінетикою розчинення надмолекулярних структур, що утворилися під дією гідродинамічного поля. У процесах флокуляції полімерами дисперсних систем, якими є неосвітлені фруктові соки, важлива роль належить швидкості дифузії макромолекул до поверхні частинок, тобто часу, необхідного для взаємодії макромолекул з частинками дисперсної системи. У нашому експерименті тільки незначна кількість частинок мала можливість провзаємодіяти з розгорнутими гідродинамічним полем

макромолекулами, а інша більша кількість (через відносно невеликий час розчинення динамічних структур) змогла провзаємодіяти з макромолекулами, які вже встигли прийняти первісну конформацію.

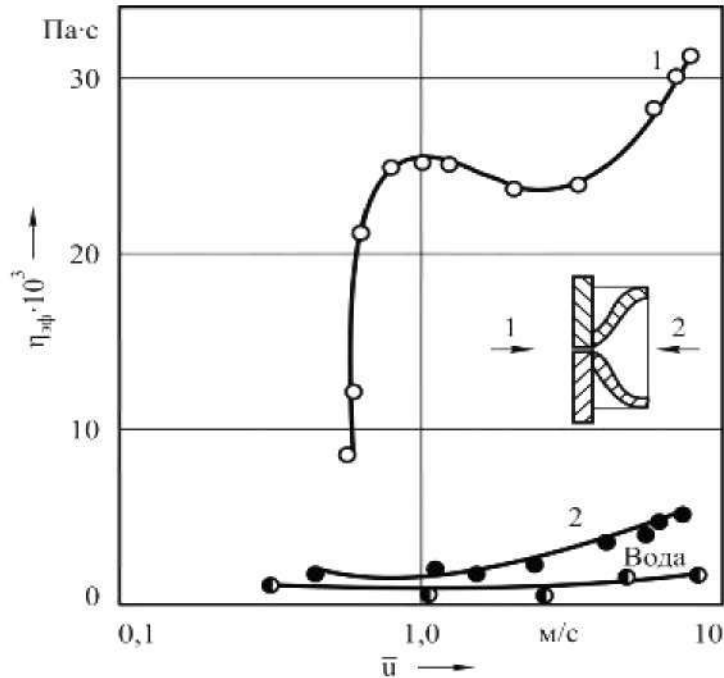


Рис. 1. Вплив умов входу до капіляру на ефективну в'язкість:

$$M_{\text{ПЭО}} = 6 \cdot 10^6, \quad c_{\text{ПЭО}} = 0,1 \%, \quad d_{\text{min}} = 0,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

У зв'язку з цим нами був розроблений, виготовлений і випробуваний проточний елемент, в якому проводилася гідродинамічна активація флокулюючої дії макромолекул і при цьому була можливість провзаємодіяти з розгорнутими гідродинамічним полем молекулами полімеру максимальній кількості частинок [7].

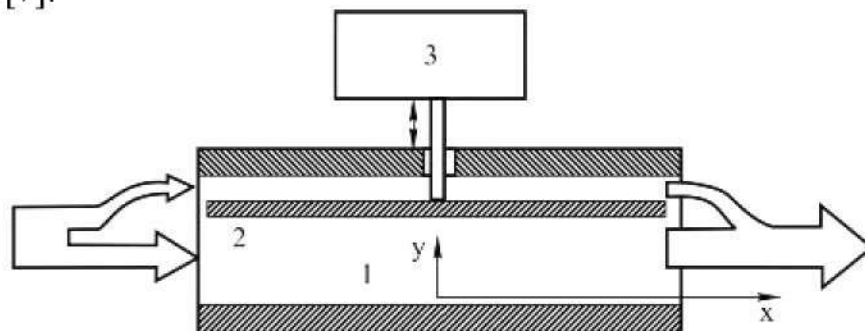


Рис. 2. Структурна схема проточної частини одиничного модуля гідродинамічного активатора флокулянту:

- 1 – проточний канал, 2 – вібруюча перегородка,
- 3 – електромагнітний вібратор

Схема проточного елемента гідродинамічного активатора наведена на рис.2. Суть його роботи полягає в наступному. Фруктовий сік, який необхідно освітлити, разом зі строго дозованою кількістю розчиненого флокулянту прокачується на відстійник через ряд секцій проточних камер, що чергуються і містять кілька модулів зі змінним живим перетином. Число секцій і модулів в проточній камері визначається емпірично. Зміна живого перетину здійснювалася за допомогою коливань перегородки, поєднаної з електромагнітним вібратором. Амплітуда коливань перегородки (мембрани) контролювалася спеціальним пристроєм. У результаті зворотньо-поступового руху перегородки між верхньою та нижньою (на рис.2) стінками, перегородка втягує або витісняє з відповідного каналу рідину. При цьому в тому і в іншому випадку поблизу вібруючої поверхні реалізується поздовжній градієнт швидкості, величина якого може бути розрахована наступним чином.

Оскільки потік симетричний, розглянемо задачу, коли потік рідини витісняється із зазору між двома площинами. Нехай нижня стінка каналу нерухома, а верхня рухається вертикально, змінюючи зазор y за законом

$$y(t) = (a + \delta) + a \sin \omega' t, \quad (1)$$

де a – амплітуда коливань верхньої площини;

δ – мінімальний зазор (під час коливань) між верхньою та нижньою площинами;

ω' – циклічна частота коливань;

t – час.

Рівняння нерозривності для даної задачі має вигляд:

$$S_0 V_y(t) = S(t) V_x(t), \quad (2)$$

де S_0 – площа верхньої площини (стінки модуля);

$S_0 = bx$, тут b і x глибина та довжина щілинного зазору;

$V_y(t)$ – швидкість руху верхньої стінки;

$$V_y(t) = \frac{dy(t)}{dt};$$

$S(t)$ – площа живого перетину щілинного зазору, який змінюється у такий спосіб $S(t) = by(t)$;

$V_x(t)$ – швидкість рідини на виході з щілинного зазору.

З огляду на вищевикладене, рівняння нерозривності матиме вид

$$xa\omega' \cos \omega' t = V_x(t) [(a + \delta) + a \sin \omega' t], \quad (3)$$

звідки

$$V_x(t) = \frac{xa\omega' \cos \omega' t}{(a + \delta) + a \sin \omega' t}. \quad (4)$$

Середній поздовжній градієнт швидкості $\dot{\epsilon}_x$ в напрямку x знайдемо як

$$\dot{\epsilon}_x = \frac{dV_x(t)}{dx} = \frac{a\omega' \cos \omega't}{(a+\delta) + a \sin \omega't}, \quad (5)$$

а середній поздовжній градієнт швидкості $\dot{\epsilon}_y$ в напрямку y як

$$\dot{\epsilon}_y = \frac{dV_y}{dy} = \frac{a\omega' \cos \omega't}{(a+\delta) + a \sin \omega't}. \quad (6)$$

Тоді повний градієнт швидкості $\dot{\epsilon}$ буде дорівнювати

$$\dot{\epsilon} = \sqrt{\dot{\epsilon}_x^2 + \dot{\epsilon}_y^2} = \dot{\epsilon}_x \sqrt{2} = \frac{\sqrt{2}a\omega' \cos \omega't}{(a+\delta) + a \sin \omega't}. \quad (7)$$

Максимальний поздовжній градієнт швидкості знайдемо з умови, що перша похідна від функції (7) дорівнює нулю. Шляхом нескладних перетворень отримаємо, що дана умова виконується при $\sin \omega't = -\frac{a}{a+\delta}$.

Тоді

$$\dot{\epsilon}_{\max} = \frac{a\omega' \sqrt{2}}{\sqrt{2a\delta + \delta^2}}. \quad (8)$$

З рівняння (8) випливає, що при частоті коливань $\nu = 150$ герц, амплітуді коливань $a = 2 \cdot 10^{-3}$ м та мінімальному зазорі $\delta = 10^{-3}$ м максимальний градієнт швидкості виходить рівним $1,2 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. При таких значеннях $\dot{\epsilon}$ гнучколанцюгові макромолекули можуть досягати ступеня розгорнутості 60-100% [3,4].

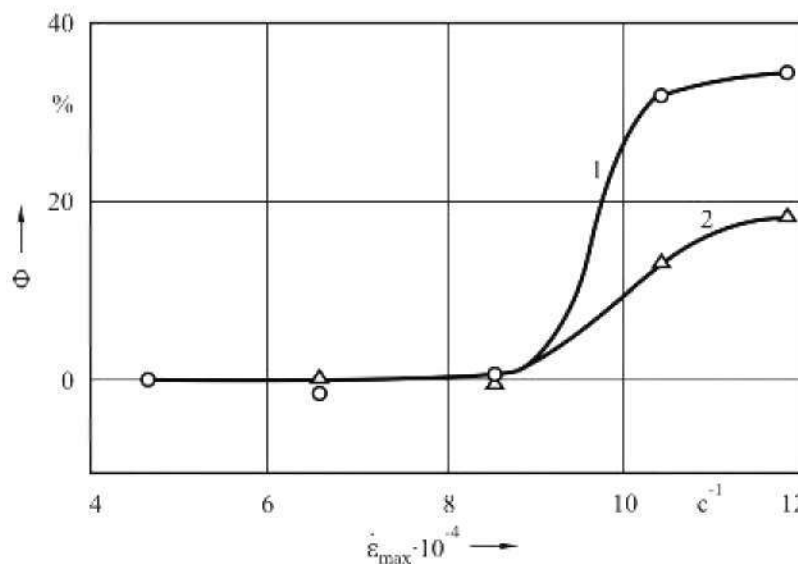


Рис. 3. Зміна величини впливу гідродинамічного поля на флокулюючу здатність ПЕО в системі вода-глина від градієнту швидкості:

$$M_{\text{ПЕО}} = 4 \cdot 10^6, \quad C_{\text{ПЕО}}: 1 - 0,004 \%, 2 - 0,002 \%; \quad C_{\text{глин}} = 0,01\%$$

Дані, що характеризують вплив поздовжнього градієнту швидкості при зміні δ (проточна секція містила п'ять модулів рис.2) на флокуліруючу здатність ПЕО в модельній системі фруктового соку показані на рис.3. В якості фізико-хімічної моделі неосвітленого фруктового соку, за допомогою якого можна вивчити основні особливості впливу гідродинамічного поля на флокуліруючу здатність молекул ПЕО була обрана система вода-глина. Величину впливу гідродинамічного поля на флокуліруючу здатність макромолекул оцінювали як

$$\Phi = \left(\frac{n_0 - n_{\varepsilon}}{n_0} \right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

де n_0 і n_{ε} – оптичні щільності суспензії, що містить флокулянт без впливу гідродинамічного поля і після гідродинамічної активації відповідно ($n_0 \equiv n_{\varepsilon}$ при $\varepsilon \rightarrow 0$). Оптичну щільність дисперсної системи визначали через 15 хвилин флокуляції на ФЕК КФК-2 при 540 нм.

Видно, що при градієнтах швидкості нижче деякого критичного значення, вплив гідродинамічного поля на флокуліруючу дію полімеру відсутній, і тільки при досягненні критичного значення інтенсивність флокуляції починає зростати, причому, тим більш різко, чим вище концентрація флокулянту в системі.

Дослідження релаксації розгорнутих ланцюгів в тих ділянках потоку, де гідродинамічне поле “вимкнене” ($\dot{\varepsilon} < \dot{\varepsilon}_{кр}$), дозволило встановити, що для напіврозбавлених та помірно концентрованих розчинів час релаксації розгорнутих ланцюгів ($\theta_{зг}$) і слабодетформованих індивідуальних ланцюгів (θ_c) може розрізнятися більш, ніж на 2 порядки. Причиною таких великих часів згортання є надмолекулярні структури, що генеруються в розчині [5]. У разі напіврозбавлених водних розчинів ПЕО (які мають $0,8 > C \cdot [\eta]_0 \geq 0,2$, де $[\eta]_0$ - характеристична в'язкість) при відносно невеликих деформаціях молекулярних ланцюгів відмінності, що спостерігаються між $\theta_{зг}$ і θ_c незначні і узгоджуються з передбаченнями теорії динаміки індивідуальних ланцюгів [8]. В той же час значний деформаційний вплив гідродинамічного поля на макромолекулярні клубки призводить до великих відмінностей в значеннях розглянутих часів релаксації, що вже не може бути пояснено в рамках моделі ізольованих макромолекул. У помірно концентрованих розчинах ПЕО, коли $C \cdot [\eta]_0 > 0,8$ навіть при відносно низькому деформаційному факторі $\theta_{зг}$ значно більше θ_c , а тим паче часу релаксації θ_0 індивідуальної макромолекули.

Причиною таких великих експериментально отриманих $\theta_{зг}$ є утворення в умовах потоку, що збігається, надмолекулярних структур.

Цей висновок про можливість динамічного структуроутворення не лише в концентрованих розчинах, але і в розчинах полімерів, у яких, згідно з критерієм Дебая [9], відсутні ефекти перекривання макромолекулярних клубків, узгоджується з теоретичними даними, отриманими в роботі [10], а також з дослідями, розглянутими нами в роботі [5].

Слід також звернути увагу на той факт, що в розчинах такого флокулянту, як гідролізованого поліакриламід (ГПАА) величина відношення $\frac{\theta_{3r}}{\theta_0}$ істотно нижче, ніж у розчинах ПЕО, що, очевидно, обумовлено наявністю однойменних зарядів на ланцюгах ГПАА, які перешкоджають утворенню надмолекулярних структур. Тому, можна припускати, що для ГПАА вплив гідродинамічного поля, яке розтягує на його флокуліруючу дію буде меншим, ніж для ПЕО.

Викладене вище є визначальним для того, щоб запропонувати інший метод гідродинамічного впливу на флокуліруючу здатність макромолекул [12]. Цей метод заснований на використанні безнасосного гідродинамічного стенду розімкнутого типу, структурна схема якого наведена на рис.4.

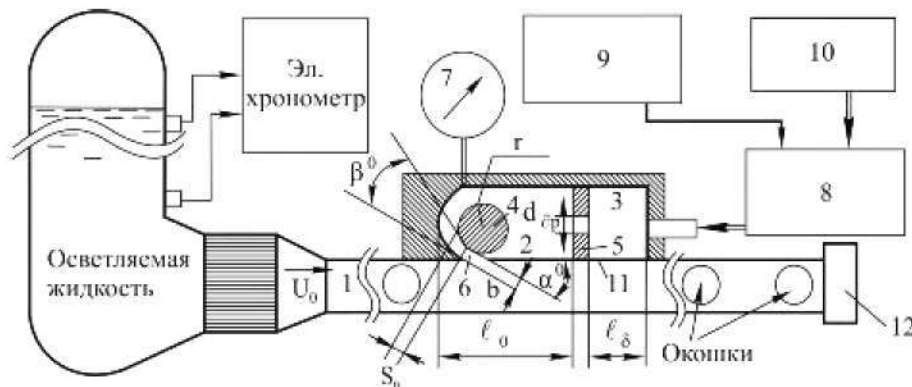


Рис. 4. Структурна схема стенду з гідродинамічною активацією полімерного флокулянта

Частина приладів і вузлів об'єднана за функціональною ознакою в окремі блоки. 1 - проточна ділянка каналу, на якій інжектуювався розчин флокулянта; 2 - надщілинна камера; 3 - буферна камера; 4 - вставка, за допомогою якої змінювали кут входу; 5 - пластина з дроселюючими отворами; 6 - випускна щілина; 7 - манометр; 8- ємність з розчином флокулянта; 9- прилад для визначення часу протікання заданого об'єму розчину флокулянту; 10- маностат; 12- запірний клапан. Кут нахилу щілини до поверхні 11 у всіх дослідах дорівнював 7° , а кут входу в щілину варіювали за допомогою змінних вставок 4.

Ефективність флокулюючої дії розчину флокулянту оцінювали фотоелектронним способом з використанням формули 9. Експерименти були виконані з водними розчинами ПЕО, які інжектували через надщілинну камеру в рухомі по каналу яблучний і виноградний соки. На відстані 2м після щілини, через скляне віконце вимірювали оптичну щільність соків. Інжекцію розчину полімеру здійснювали через щілину з кутом входу $7,8^\circ$, $14,5^\circ$ і 165° . Тільки при куті входу в щілину що дорівнює 165° можна було реалізувати закритичний режим протікання полімерного розчину через щілину, тобто режим, при якому можливий перехід клубок-розгорнутий ланцюг. Використані розчини ПЕО мали молекулярну масу $2 \cdot 10^6$, $4 \cdot 10^6$ і концентрацію 0,3%, 0,1% відповідно, а $C \cdot [\eta]_0 > 0,8$.

Підвищена флокулююча здатність ПЕО виявлялася, коли розчин флокулянту інжектувався у виноградний і яблучні соки через надщілинну камеру на закритичному режимі. Отримали, що підвищення флокулюючої здатності ПЕО молекулярної маси $2 \cdot 10^6$ і концентрації 0,3% склало близько 33%, а для розчинів ПЕО молекулярної маси $4 \cdot 10^6$ і концентрації 0,1% - 25%. При інжекції полімерних розчинів на докритичних режимах, тобто при кутах входу $7,8^\circ$ та $14,5^\circ$ і постійній швидкості інжекції, флокулююча дія макромолекул практично не змінювалася.

Розчини ПЕО можна розділити, принаймні, на три області. Область розбавлених розчинів полімерів, напіврозбавлених, обмежених співвідношенням $0,8 > ([\eta]_0 \cdot C) > 0,2$ і помірно концентрованих, коли $C \cdot [\eta]_0 > 0,8$ [5]. Слід звернути увагу на те, що саме друга і третя області відносяться до концентрацій прояви ефекту підвищення флокулюючої дії ПЕО при частотному (рис.3) і інжекційному (рис.4) методах гідродинамічного впливу на них.

Таким чином, поставлені досліди підтвердили теоретично передвіщене нове явище, яке полягає у підвищенні флокулюючої здатності макромолекул під дією гідродинамічного поля, інтерпретація якого ґрунтується на ефектах пружних деформацій, що проявляються при течії з розтягом полімерних розчинів.

Правильно оптимізувавши співвідношення молекулярної маси, концентрації, режимів гідродинамічних впливів і способу введення полімерного флокулянту до фруктових соків, можна істотно збільшити швидкість і ступінь їх освітлення, а за наявності в них забруднюючих речовин, ступінь їх очищення, знизити при цьому оптимальну концентрацію флокулянту, тобто його витрати, а також значно зменшити залишкову концентрацію флокулянту в фруктовому соку, після його освітлення.

Величина залишкової концентрації полімеру в соку після його обробки флокуляційним методом має важливе значення. Якщо, наприклад, для ПЕО цей параметр менш значний, тому що ПЕО має клас небезпеки - 4 (безпечна речовина), то для інших флокулянтів (ПАА, особливо, ГПАА і тощо) необхідно постійно її контролювати.

Відомі прилади, за допомогою яких можна визначити концентрацію полімерного флокулянту в розчинах - це турбореометри [10], капілярні віскозиметри і подібні до них пристрої [11]. В якості гідрорезисторів (проточних елементів) в цих приладах використовуються відносно довгі капіляри або трубки. Такі пристрої дозволяють контролювати концентрації полімерів в розчині не нижче ніж 0,01%, у деяких випадках, на турбореометрі можна визначити концентрацію близько 0,001% [10].

Тому, в даний час, не існує простих і недорогих стандартних експрес-методів, які б дозволяли визначити дуже малі залишкові концентрації полімерного флокулянту в соку, після його освітлення.

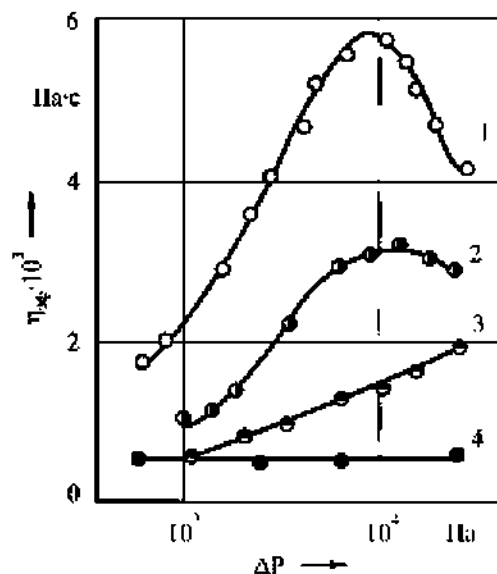


Рис. 5. Залежність ефективної в'язкості водних розчинів ПЕО від перепаду тиску при фільтраційній течії:

Середній розмір пор $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, $M_{\text{PEO}} = 4 \cdot 10^6$;

c_{PEO} : 1 – 0,001 %, 2 – 0,0005 %, 3 – 0,0002 %, 4 – вода

Результати рис. 5, що свідчать про надзвичайно високу чутливість такого параметра, як ефективна в'язкість, до наявності в рідині мізерно малих домішок полімеру дозволяють запропонувати новий спосіб визначення залишкової концентрації флокулянту. Для його реалізації була розроблена наступна конструкція вимірювальної установки [13], яка наведена на рис.6.

Спосіб вимірювання концентрації зводиться до наступного. У вимірювальну ємність 1 заливається досліджуваний розчин і

витримується певний час в термостаті 6 до встановлення заданої терморегулятором 7 температури. Потім вимірювальний модуль підключається до маностату 5, в якому встановлено необхідний тиск повітря. У результаті цього досліджуваний розчин з вимірювальної ємності через змінний гідрорезистор 3 витікає в ємність для його збору 2. Час протікання фіксованого об'єму розчину визначається автоматично електронним хронометром 4 з використанням фотоелектронних датчиків положення рівня рідини в мірній ємності.

Для визначення залишкової концентрації полімерного флокулянту в фруктовому соку, після його освітлення, необхідно виміряти час протікання заданого об'єму соку, що містить залишки флокулянту невідомої концентрації і час протікання соку без флокулянту при певному перепаді тиску, визначивши при цьому зміну ефективної в'язкості, як

$$\frac{\Delta\eta_{\text{эф}}}{\eta_{\text{эф}}} = \left(\frac{t_c}{t_0} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (10)$$

де t_c – час протікання заданого обсягу освітленого соку з залишками флокулянта, а t_0 – час протікання освітленого соку без флокулянта при постійному перепаді тиску.

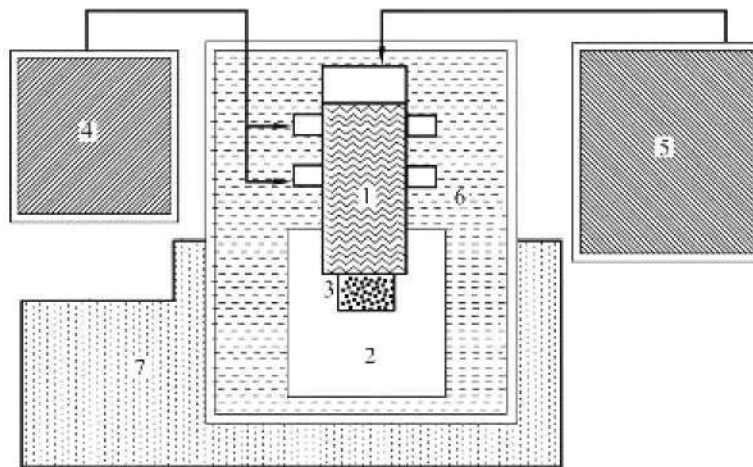


Рис. 6. Структурна схема обладнання для вимірювання залишкової концентрації флокулянта в освітленому фруктовому соку:

- 1 – вимірювальна ємність; 2 – ємність для збору рідини;
- 3 – пористий гідрорезистор; 4- електронний хронометр;
- 5 – маностат; 6 – термостат; 7 – терморегулятор

Потім за калібрувальними графіками, подібними рис.7 (концентрація флокулянту наведена у мільйонних частинах (ppm)), можна визначити шукану залишкову концентрацію полімерного флокулянту.

З рис.7 видно, що запропонований спосіб вимірювання залишкової концентрації полімерного флокулянту в фруктових соках, після їх освітлення, дозволяє розширити діапазон вимірюваних концентрацій більш, ніж як на два порядки, у порівнянні з відомими в теперішній час методами.

Висновки.

1. Описано нове явище, яке полягає у підвищенні флокулюючої здатності макромолекул в умовах потоку, що розтягує. Обґрунтовано механізм даного явища, заснований на уявленнях про сильний деформаційний вплив гідродинамічного поля на молекулярні клубки.

2. Експериментально підтверджений факт впливу поздовжнього гідродинамічного поля на флокулюючу здатність ПЕО відкриває можливість для розробки пристроїв, які дозволяють збільшувати останню. Запропоновано спосіб та устаткування для реалізації методу гідродинамічної активації полімерних флокулянтів і для вимірювання залишкової концентрації полімерного флокулянту в фруктових соках, після їх освітлення.

3. Показано, що за рахунок впливу гідродинамічного поля на молекули ПЕО можна різко збільшити швидкість і ступінь освітлення виноградного і яблучного соків, що має без сумніву як наукове так і практичне значення при вирішенні багатьох задач товарознавства.

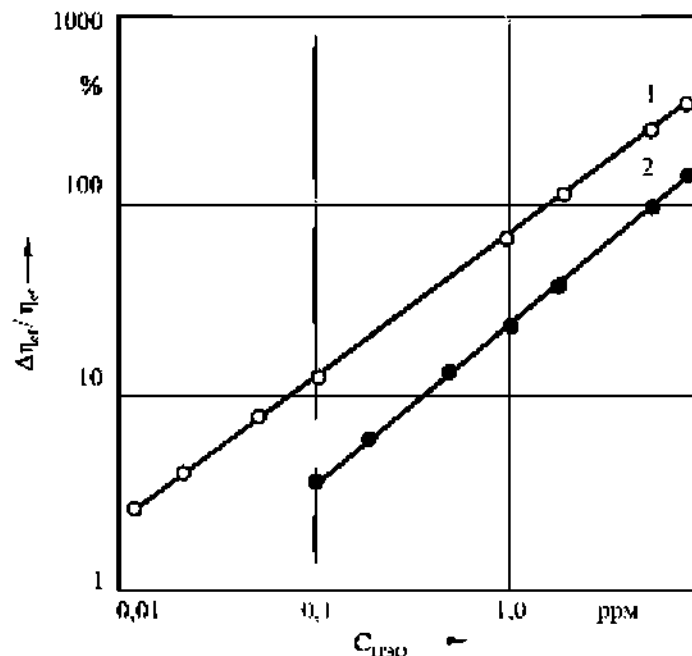


Рис.7. Калібрувальний графік для визначення концентрації флокулянта ПЕО у виноградному соку:

Середній розмір пор $1,6 \cdot 10^{-4}$ м; $M_{\text{ПЕО}} = 10^6$;

1 — $\Delta P = 2,8 \cdot 10^4$ Па; $M_{\text{ПЕО}} = 4 \cdot 10^6$; 2 — $\Delta P = 10^5$ Па

Перспективами подальших досліджень в даному напрямку є оптимізація співвідношення між молекулярною масою, концентрацією, режимами гідродинамічного впливу і способами введення полімерного флокулянта до фруктових соків з метою істотного збільшення швидкості і ступеня їх освітлення, а за наявності в них забруднюючих речовин, ступеня їх очищення, при мінімальних витратах флокулянту і значне зменшення залишкової його концентрації у фруктовому соку, після його освітлення.

Література

1. Самсонова, А.Н. Фруктовые и овощные соки (Техника и технология) / А.Н. Самсонова, В.П. Ушева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., Агропромиздат, 1990. – 287 с.
2. Pogrebnyak V.G. Deformation effects in case of a flow with stretching of polymer solutions / V.G. Pogrebnyak, A.A. Pisarenko // Turbulence and Shear flow phenomena – 1, Santa Barbara, California / S.Banerjee, J.K. Eaton editors. – New York, 1999. – P.1345–1350.
3. Pogrebnyak V.G. The Structure of the Hydrodynamic Field and Distortions of the Molecular Shape of Flexible Polymers under Free-Converging Flow Conditions / V.G. Pogrebnyak, Yu.F. Ivanyuta, S.Ya. Frenkel // Polymer Science USSR. – 1992. – Vol.34, №3. – P.270–273.
4. Pogrebnyak, V. G. Polymer Macromolecules as a Tool for Studying Wall-Adjacent Turbulence Flow / V.G. Pogrebnyak // Proceedings of the 2nd International Symposium on Seawater Drag Reduction / ASERC, Korea – Busan, 2005. – P.79–90.
5. Погребняк В.Г. Динамическое структурообразование в растворах гидродинамически активных полимеров / В.Г. Погребняк, Н.В. Наумчик, С.В. Твердохлеб // Инж.–физ. журн. – 1992. – Т.63, №2. – С.147–150. – ISSN 0021–0285.
6. Бресткин Ю.В. Эффекты ДПП полимерных растворов в продольных гидродинамических полях / Ю.В. Бресткин, В.Г. Погребняк, С.А. Агранова, Н.Е. Дьяконова // Высокомолекуляр. соединения. Сер. Б. – 1989. – Т. 31, № 11. – С. 844–846.
7. Пат. 40537 Україна, МПК (2009) B01D21/01. Спосіб обробки рідких харчових продуктів та матеріалів флокулянтом / В.Г. Погребняк, І.В. Перкун, О.В. Гордієнко – № у 2008 14037, Бюл.7. – 2009.
8. De Gennes P.G. Coil–stretch thransition of dilute flexible polymers under ultrahigh velocity gradients / de Gennes P.G. // J.Chem. Phys. – 1974. – Vol.60, №12. – P.5030–5042.
9. Френкель С.Я. Концентрированные растворы полимеров. (Термодинамика и структура) / С.Я. Френкель, Г.К. Ельяшевич, Ю.Н.

Панов // Успехи химии и физики полимеров / под ред. Мечникова Г.М. – М.: Химия, 1970. – С.87–138.

10. Повх И.Л. Связь между молекулярным строением растворов ПЭО и эффектом снижения гидродинамического сопротивления / И.Л. Повх, В.Г. Погребняк, А.И. Торяник // Инж.–физ. журн. – 1979. – Т.37, №4. – С.581–588.

11. Малкин А.Я. Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения / А.Я. Малкин, А.Е. Чалых – М.: Химия, 1979. – 304с.

12. Пат. 40896 Україна, МПК (2009) B01D21/01. Пристрій для прискорення очищення харчових суспензій / Погребняк В.Г., Перун І.В., Гордієнко О.В. – № u 2008 14230, Бюл. № 8. – 2009.

13. Пат. 29365 Україна, МПК (2006) G01N 15/00. Пристрій для вимірювання концентрації гідродинамічно активних полімерів у розчинах / Наумчик О.В., Погребняк А.В., Перун І.В. – № u 2007 10328, Бюл. №1. – 2008.

ПОВЫШЕНИЕ ФЛОКУЛИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАКРОМОЛЕКУЛ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ ФРУКТОВЫХ СОКОВ

Погребняк В.Г., Перкун И.В.

Аннотация – показано, что с помощью влияния гидродинамического поля на полимерный флокулянт ПЭО можно резко увеличить скорость и степень осветления яблочного и виноградного соков, который имеет как научное так и практическое значение при решении ряда задач товароведения.

ELEVATION OF FLOCCULATED ABILITY OF MACROMOLECULES DURING THE CLARIFYING OF FRUIT JUICES

V Pogrebnyak., I.Perkun

Summary

There depicted a new event that elevates flocculated abilities of macromolecules in conditions of stretching jet. It is proved that the mechanism of the given event is based on the ideas of strong deformation influence of hydrodynamic field on molecular coil.

It is shown that due to the influence of hydrodynamic field on coil flocculant polyethylene oxide it is possible to elevate greatly velocity and degree of clarifying of grape and apple juices that has scientific and practical value in solutions of the problems of merchandise knowledge.