

УДК 664.2.058.02

*Р. Є. СЛОБОДНЮК*, здобувач, Дніпропетровський технологіко-економічний коледж;

*Д. Ю. ПРАСОЛ*, канд. техн. наук, доц., Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

## ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ФАЗОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ГІДРОАКУСТИЧНО ОБРОБЛЕНОГО ОКЛЕЙСТЕРИЗОВАНОГО КУКУРУДЗЯНОГО КРОХМАЛЮ

Розглянуто наслідки механічної дії на оклейстеризовану дисперсію кукурудзяного крохмалю. Оклейстеризовану дисперсію кукурудзяного крохмалю із заданими фізико-хімічними та функціонально-технологічними властивостями отримують з метою використання в технології десертної продукції замість хімічно модифікованої крохмальної сировини.

**Ключові слова:** оклейстеризована крохмальна дисперсія (ОКД), гідроакустичний вплив, кукурудзяний крохмаль, роторно-імпульсний апарат (PIA).

**Постановка проблеми.** Процес гідроакустичного диспергування ОКД, тобто руйнування її початкової зернистої структури, є цільовим в питанні отримання механічно модифікованого кукурудзяного крохмалю з метою використання його в технології харчової продукції з мазкою або емульсійною структурою. В проведених нами дослідженнях саме такий спосіб модифікації дозволив отримати натуральну основу для виготовлення десертної продукції, що не старіла внаслідок ретроградації кукурудзяного крохмалю протягом тривалого терміну зберігання. Однак процес диспергування може супроводжуватися і небажаними, в технологічному відношенні, структурними змінами в оброблених гелях, що зумовлено дією високої напруги зсуву.

Аналітичними дослідженнями встановлено, що за впливу гідродинамічного поля на системи полімер:розчинник, може спостерігатися руйнування наявних структур, деформація нових структурних утворень, а також нових надмолекулярних структур, з існуванням яких пов'язане явище драглеутворення. В залежності від умов механічної обробки, диспергування і динамічне структуроутворення можуть відбуватися паралельно з перевагою, чи без переваги одного процесу над іншим.

**Мета досліджень.** Однією з розв'язуваних у цій роботі проблем було дослідження впливу параметрів гідроакустичної обробки PIA на ймовірність перебігу конформаційних і фазових перетворень в ОКД.

**Результати дослідження.** Під час дії високих напруг зсуву, що є однією з найважливіших складових гідроакустичного впливу, на розчини і гелі полімерів, відбувається розгортання макромолекул і їхня орієнтація в напрямку руху зсувного потоку. Вважається [1], що за дії високих зсувних навантажень і/або кавітації на водно-полімерні системи, може відбуватися оборотна дегідратація гідрофільних груп. У разі ОКД це може стати причиною виникнення водневих зв'язків між дегідратованими гідроксильними групами сусідніх орієнтованих макромолекул та утворення нових надмолекулярних структур [2, 3].

Орієнтаційно-асоціативні процеси, що ініційовані дією високих напруг зсуву в крайньому випадку можуть викликати утворення зародків твердої фази. За відносно великої тривалості обробки ОКД з концентрацією крохмалю 3...7 % в РІА нами спостерігалось необоротне збільшення оптичної густини дисперсії.

На рис. 1, для порівняння, наведено залежності відносної оптичної густини ОКД з різним вмістом кукурудзяного крохмалю, від тривалості обробки в РІА.

Ймовірність утворення твердої фази зростає за збільшення концентрації крохмалю від 1 до 4 %, а під час подальшого збільшення концентрації – зменшується.

Для 9 % ОКД утворення твердої фази зафіксовано не було.

На двофакторній діаграмі область в якій тривають фазові перетворення має позначення «4». Суцільні лінії в межах даної області відповідають граничним параметрам для різних концентрацій крохмалю в ОКД.

Утворення надмолекулярних структур в ОКД не завжди супроводжується вираженою зміною їх оптичних властивостей. Ще одним непрямим методом оцінки ступеня структурування ОКД, є метод заснований на вимірюванні реакційної здатності крохмалю в механічно оброблених ОКД.

Вплив механічної обробки ОКД на реакційну здатність крохмалю вивчали на прикладі реакції окислення за допомогою перманганату калію в кислому середовищі [4]. Реагенти вводили в ОКД безпосередньо після її механічної обробки. Таким чином оцінювався тільки постефект механічної обробки.

Експериментальні дані кінетичних вимірювань представлено в табл.

Таблиця – Вплив механічної обробки на реакційну здатність крохмалю в реакції окислення за допомогою перманганату калію

Концентрація крохмалю, %	К до обробки, л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	КА після обробки, л·моль <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup>	КА/К
3	2,8±0,32	1,8±0,14	0,64
5	3,2±0,46	3,1±0,23	0,97
7	6,7±0,59	9,3±0,46	1,59

З отриманих даних видно, що для ОКД з низькою концентрацією крохмалю (C<5 %) виявлено негативний постефект механічної активації. Для прикордонної області (C=5 %) постефект відсутній, а для концентраційної області C>5 % спостерігається збільшення реакційної здатності крохмалю після його попередньої механічної обробки.

Одним з факторів, що визначають швидкість хімічної реакції, є доступність функціональних груп, в нашому випадку гідроксильних, які під час механічної

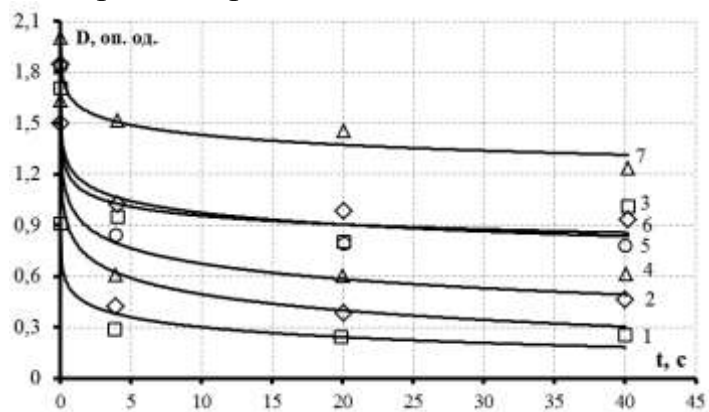


Рис. 1 – Залежності оптичної густини ОКД різної концентрації (%) від тривалості їх обробки в РІА: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – 1; 3; 4; 5; 6; 7; 8 % відповідно

обробки в умовах зміни дії високих напруг можуть як вивільнятися під час руйнування старої структури, так і залучатися до утворення водневих зв'язків при утворенні нової структури. Зниження реакційної здатності крохмалю в першій концентраційній області під час механічної обробки можна вважати наслідком зниження концентрації доступних -ОН груп, що є слідством механоініційованої асоціації з утворенням нових міжмолекулярних водневих зв'язків.

У другій концентраційній області наявність просторової флуктуаційної сітки перешкоджає орієнтації макромолекул та утворення нових водневих зв'язків між дегідратованими -ОН групами. В результаті спостерігається деяке збільшення реакційної здатності крохмалю в попередньо активованій ОКД як наслідок руйнування первинної структури.

Дослідження впливу механічної обробки на реакційну здатність крохмалю (постефект) провадилися шляхом варіювання інтенсивності та тривалості дії в РІА. Встановлено, що вплив фактору інтенсивності механічної дії є не однозначним. Так, збільшення інтенсивності впливу приводить до збільшення структурування лише у певних межах. За швидкості обертання ротора  $n=5000$  об/хв., під час короткотривалих впливів, дезактивація крохмалю за рахунок асоціативних процесів виявилася нижчою ніж за швидкості обертання ротора  $4000$  об/хв та за тієї ж тривалості обробки. Вочевидь це пов'язано з тим, що за високої інтенсивності впливу відбувається кавітаційне руйнування новостворених асоціатів. Як видно з наведеної діаграми стану механічно розщеплених ОКД область «4» відповідає моменту утворення зародків твердої фази і передує області «3», в якій ці процеси не встигають розвинути. Саме ця область відповідає короткочасним впливам та представляє найбільший інтерес для практичного використання оскільки у виробничих умовах роторно-імпульсні апарати працюють як проточні, здійснюючи одно-циклову обробку. Однак, як було з'ясовано і в цій області механічного впливу можуть мати місце небажані структурні перетворення. Вперше встановлено, що найбільш характерним наслідком дії зсувних напруг на зв'язанодисперсні системи є виникнення постзсувної напруженості структури яка виражається в підвищенні поверхневого натягу. Це небажаний, в технологічному відношенні, ефект який погіршує умови утворення емульсій. У зв'язку з цим необхідним було з'ясування чинників, що визначають ступінь напруженості структури під час механічного розщеплення ОКД. Слід особливо зазначити, що термін «постзсувна напруженість» не є загальноприйнятим. Використання цього нетрадиційного терміну ми вважаємо допустимим у зв'язку з тим, що він найкраще відображає нові, ще не описані в літературі ефекти, які ініційовані комплексним впливом високих зсувних навантажень і кавітації на складно-дисперсні, рідкі системи.

Для низьких концентрацій ОКД (2...5%) в якості міри постзсувної напруженості можуть бути використані значення приросту поверхневого натягу ( $\Delta\sigma$ ). Цей показник визначається як різниця поверхневого натягу механічно і термічно розщеплених ОКД.

На рис. 2 показані залежності  $\Delta\sigma$  від умов обробки ОКД в роторно-імпульсних апаратах різної конструкції. Апарати різної конструкції за однакової швидкості обертання ротора забезпечують різну ступінь руйнування часток дисперсної фази.

На підставі отриманих даних зроблені припущення, щодо характеру структурних змін, які приводять до підвищення поверхневого натягу під час

механічної обробки ОКД. Під час виникнення зсувних навантажень відбувається зміна конформації крохмальних макромолекул, вони розтягуються у напрямку дії зміни. Найбільш сильно схильні до деформацій лінійні макромолекули амілози, що розчинені у водному середовищі ОКД. Макромолекули амілопектину через свою розгалуженість мають малу ступінь асиметрії і тому не піддаються зсувним деформаціям. Таким чином, найбільшу роль в процесі виникнення зсувної напруженої структури

відіграє, вочевидь, вміст водорозчинної фракції, яка за даної швидкості обертання ротора визначає ефективність утворення розщеплених зерен. Після припинення дії зсувних навантажень система прагне повернутися в рівноважний стан, проте деяка напруженість структури зберігається за рахунок фіксації вимушених деформацій у момент обробки. Під час обробки, напружений деформований стан водорозчинної амілози може бути зафіксовано утворенням сітки міжмолекулярних зчеплень, асоціативними контактами, а також міжмолекулярними зшивками, що ініційовані кавітацією. Дані рис. 2 дозволяють припустити, що під час обробки відбуваються одночасно процеси утворення напруженої просторової сітки полімеру і її механічне руйнування, оскільки вузли сітки є механічно напруженими та, в першу чергу, піддаються розриву. На одночасний перебіг механічного руйнування структурної сітки, що утворилася, вказує зниження  $\Delta\sigma$  за збільшення терміну обробки (рис. 3), а також той факт, що для роторів з високою механічною ефективністю значення  $\Delta\sigma$  при швидкості обертання ротора у 5000 об/хв виявилася нижчою, ніж при  $n=4000$  об/хв. (рис. 3).

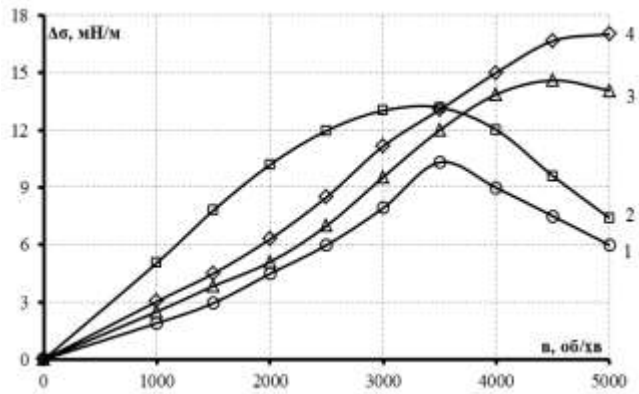


Рис. 2 – Залежності приросту поверхневого натягу  $\Delta\sigma$  (мН/м) ОКД (С-4%) від інтенсивності  $n$  (об/хв) механічної обробки: 1 – ротор № 1; 2 – ротор № 2; 3 – ротор № 3; 4 – ротор № 4

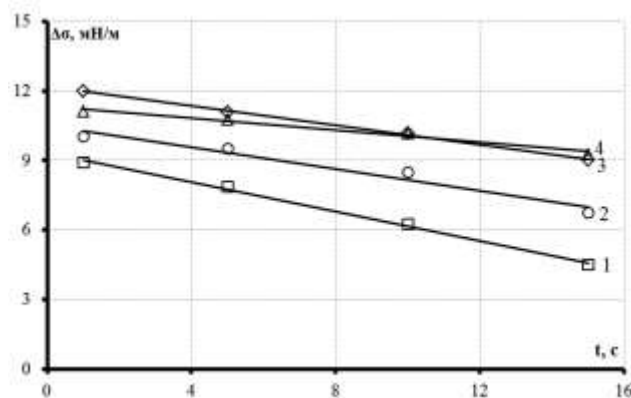


Рис. 3 – Залежності приросту поверхневого натягу  $\Delta\sigma$  (мН/м) від часу  $t$  (с) механічної обробки при його обробці в РІА: 1 – ротор № 1; 2 – ротор № 2; 3 – ротор № 3; 4 – ротор № 4

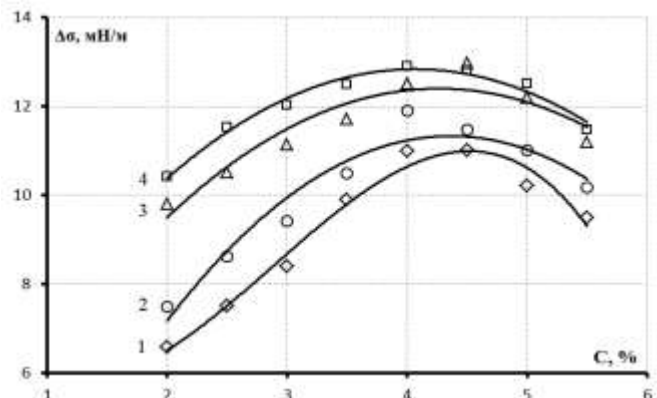


Рис. 4 – Залежності приросту поверхневого натягу  $\Delta\sigma$  (мН/м) від концентрації ОКД  $C$  (%) при його обробці РІА: 1 – ротор № 1; 2 – ротор № 2; 3 – ротор № 3; 4 – ротор № 4

Концентраційні залежності  $\Delta\sigma$  можна пояснити наступним чином.

Зростання  $\Delta\sigma$  в області низьких концентрацій пов'язане зі збільшенням загального вмісту розчиненої амілози в ОКД. Однак за збільшення концентрації більше 4...4,5% спостерігається зниження напруженості. Характерно, що екстремальне значення  $\Delta\sigma$  досягається за концентрації крохмалю, що відповідає критичній концентрації крохмалю (Скр), при якій відбувається зміна механізму в'язкої течії за рахунок утворення флуктуаційної фізичної сітки (рис. 4).

Збільшення концентрації крохмалю після досягнення Скр викликає зниження  $\Delta\sigma$ , за рахунок труднощів які ініційовані зсувом та орієнтаційно-асоціативних процесів в системі. Вимір величини поверхневого натягу для ОКД більш високої концентрації пов'язане з методичними труднощами, але є підстави припустити, що  $\Delta\sigma$  за збільшення концентрації крохмалю буде зменшуватися.

Представляло інтерес оцінити оборотність напруженості структури механічно розщепленої ОКД.

Дослідним шляхом встановлено, що під час накладення повторних механічних навантажень помірної інтенсивності ( $n=50$  об/хв), наприклад за перемішування, поверхневий натяг знову знижується. Як приклад, на рис. 5 представлено залежність зміни поверхневого натягу від часу релаксації.

З рис. 5 видно, що під час перемішування

магнітною мішалкою ( $n=50$  об/хв), знижується напруженість зсуву системи, причому із збільшенням температури процес йде більше інтенсивно. Однак значення поверхневого натягу механічно розщепленої ОКД не знижуються до значень поверхневого натягу термічно розщепленого крохмалю.

Це дозволило виділити області оборотної і необоротної напруженості.

Як показав дослід з розробки власне технології десертної продукції, проблем, що були б пов'язані із збільшенням поверхневого натягу ОКД не виникало. Можливо таке пояснюється прискоренням релаксації за рахунок додаткових механічних навантажень під час перекачування готової продукції в якій як основа була використана саме так підготовлена крохмальна сировина.

### Висновки

1. Експериментальними дослідженнями підтверджено доцільність використання роторно-імпульсного апарату для механічної модифікації оклейстеризованої крохмальної дисперсії. Механічна модифікація крохмалю відбувається під дією акустичної енергії та високих напруг зсуву.

2. Механічний спосіб розщеплення з використанням РІА дозволяє отримувати ОКД з різними властивостями, що відкриває нові можливості для їх використання в технології десертної продукції, а саме як згущувач з низькою здатністю до ретроградації.

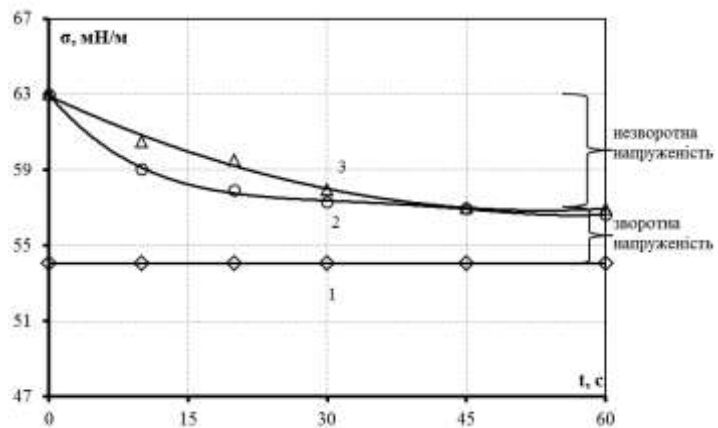


Рис. 5 - Залежності поверхневого натягу  $\Delta\sigma$  (мН/м) механічно розщепленої ОКД від терміну релаксації: 1-термічно розщеплена ОКД; 2-механічно розщеплена ОКД ( $t=40$  °C); 3 - механічно розщеплена ОКД ( $t=20$  °C)

**Список літератури:** 1. *Казале А.* Реакция полимеров под действием напряжений [Текст] / А. Казале, Р. Портер. – Л. : Химия, 1983. – 440 с. 2. *Плотников В.А.* Разработка и исследование роторно–пульсационного аппарата для получения комбинированных продуктов питания на молочной основе [Текст]: автореф. дис... канд. тех. наук : 05.18.04 – К., 2000. – 16 с. 3. *Ohta K.* [Text] / K. Ohta, K. Urano, K. Kawahara // *Kobunshi robunshu.* – 1984. – Vol. 41. – № 12. – P. 739–744. 4. *Patterson Gary K.* [Text] / K. Patterson Gary // "Drag Redact. 3 rd Int. Conf., 2–5 July 1984. – Bristol, 1984. – E4/1–E4/6.

*Надійшла до редколегії 15.11.2013*

УДК 664.2.058.02

**Вивчення процесу фазових перетворень гідроакустично обробленого оклестеризованого кукурудзяного крохмалю / . Слободнюк Р. Є, Прасол Д. Ю. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 70 (1043). – С.133-138. – Бібліогр.: 4 назв.**

Рассмотрены вопросы механического воздействия на оклейстеризованную дисперсию кукурузного крахмала. Оклеysterизованную, гидроакустически обработанную дисперсию кукурузного крахмала, с заданными физико-химическими и функционально-технологическими свойствами, используют в технологии десертной продукции вместо химически модифицированного крахмального сырья.

**Ключевые слова:** оклейстеризованная крахмальная дисперсия (ОКД), гидроакустическое влияние, кукурузный крахмал, роторно-импульсный аппарат (РИА).

Results from a mechanical action are considered on paste of corn starch. Such geared-up raw material with the set physical, chemical, functional and technological properties is got with an aim by the uses in technology dessert products instead of the chemically modified starched raw material.

**Keywords:** Converted into paste starch dispersion (BAS), the influence of sonar, corn starch, rotary-pulse unit (RIA).

УДК 613/614:669.013+622.8

**И. В. МОСКАЛЮК**, канд. техн. наук, доц., Одесский государственный аграрный университет;

**Н. Н. САКУН**, канд. техн. наук, доц., зав. каф., Одесский государственный аграрный университет;

**Н. И. ШУЛЯК**, ассистент, Одесский государственный аграрный университет

## **АНАЛИЗ И ПРОФИЛАКТИКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И ГОРНО-ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Проведены исследования по разработке комплекса гигиенических и медицинских мер по оптимизации профилактики профессиональных заболеваний у лиц, которые работают в металлургическом и горно-химическом производствах.

**Ключевые слова:** профессиональные заболевания, патологии, вредные факторы.

**Введение.** Низкий уровень здоровья, частые случаи острых и хронических профессиональных заболеваний у рабочих, занятых в производстве цветных металлов и на предприятиях горно-химической промышленности, отсутствие перспектив внедрения безопасных инженерно-технических решений в ближайшие десятилетия обуславливают необходимость совершенствования системы профилактических и оздоровительных мероприятий.

Установлено, что труд людей, работа которых связана с производством никеля

© И. В. МОСКАЛЮК, Н. Н. САКУН, Н. И. ШУЛЯК, 2013