

УДК 66.084.6

© С.Г. Панасюк, к.т.н., І.В. Дудко  
Луцький національний технічний університет

### **РУЙНУВАННЯ АДГЕЗІЙНОГО З'ЄДНАННЯ ЗАБРУДНЕНЬ ІЗ ПОВЕРХНЕЮ БУЛЬБ КАРТОПЛІ**

*У статті приведено аналіз адгезійного з'єднання забруднень із поверхнею бульб картоплі, встановлено основні фактори, які впливають на роботу при його руйнуванні.*

#### **МИТТЯ, КАРТОПЛЯ, КОГЕЗІЯ, АДГЕЗІЯ, ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ.**

**Постановка проблеми.** Миття – процес видалення з поверхні бульб картоплі забруднень, механічних домішок, пестицидів і мікрофлори. При митті відбувається змочування поверхонь водою, диспергування і стабілізація забруднень, що відокремилися від поверхні, у миючій воді.

Картопля має щільну структуру і тонку шкірку, тому щоб забезпечити правильну технологію миття необхідно визначити зусилля на поверхню бульб з метою уникнення їх пошкодження під час миття.

На сучасному етапі актуальним є пошук шляхів забезпечення мінімальних енергетичних витрат на руйнування забруднень при митті

та збереження якості сировини, що обумовлюється встановленням сил, які утворюють адгезійний зв'язок.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженням процесу миття плодово-ягідної та овочевої продукції в Україні займалися І.М. Заплетніков, О.К. Гладушняк, Ф.М. Крисак, Л.М. Антропова, А.Д. Гладка та інші. Згідно з цими дослідженнями необхідно враховувати такий фактор як вид та структура забруднень об'єктів миття. Від складу забруднень залежать його механічні властивості, сила зчеплення з поверхнею сировини, а, отже, і швидкість руйнування під струменем води та дія на ці властивості хімічного, фізичного і механічного впливів.

В.К. Тарасовим було проведено класифікацію забруднень за п'ятьма ознаками та встановлено фактори, які впливають на швидкість протікання процесу. Згідно з дослідженнями Г.А. Гончарук значний вплив на процес миття мають також в'язкість і поверхневий натяг води, які залежать від температури, жорсткості тощо. Зі збільшенням температури води її в'язкість і поверхневий натяг зменшуються.

Проте, залишаються недостатньо вивченими питання руйнування забруднень із поверхнею бульб картоплі, забезпечення ефективності миття при зменшенні витрат миючої води.

**Мета дослідження** – провести аналіз з'єднання забруднень з поверхнею бульб картоплі, встановити шляхи зменшення витрати енергії на руйнування забруднень.

**Результати дослідження.** Процес миття полягає у руйнуванні адгезійного з'єднання забруднень, які складаються із часточок ґрунту, бруду, піску, залишків шкідливих речовин, із поверхнею плодів картоплі.

Для ефективності процесу миття рідина повинна добре змочувати поверхні, що відмиваються. При хорошому змочуванні рідина розтікається по поверхні твердого тіла і проникає в його найменші пори.

Тверда поверхня тим краще змочується рідиною, чим менші сили зчеплення між утворюючими її молекулами (когезія) і чим більші сили прилипання між молекулами рідини і твердого тіла (адгезія).

Причиною адгезії є сили, які діють між молекулами контактуючих фаз. Утворений шар забруднень має тріщини та пори, з яких з часом відбувається випаровування вологи, при цьому відстані між частинками забруднень зменшуються. У результаті утворюється міцний контакт між твердим тілом – поверхнею бульби картоплі В і адгезивом А, які є основними компонентами адгезійного з'єднання (рис. 1, а).

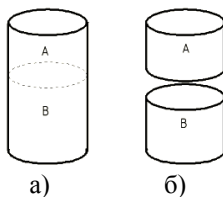


Рис. 1 – Схема утворення нових поверхонь за рахунок подолання адгезійних сил

Між молекулами всередині забруднень виникають сили когезії. Відповідно до цього робота когезії визначається як робота, що затрачається на руйнування сил зчеплення між молекулами твердої об'ємної фази. Ця робота руйнування розраховується за формулою:

$$W_k = 2\sigma, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг забруднень, що руйнуються, на межі з повітрям, Дж/м<sup>2</sup>.

Робота адгезії визначається міцністю адгезійного зв'язку, при руйнуванні якого створюються дві нові поверхні розділу: бульба картоплі – повітря та частинка забруднень – повітря (рис. 1, б); і зникає поверхня розділу: бульба картоплі – шар забруднень (рис. 1, а). Робота адгезії, що затрачається на відривання молекул забруднень від поверхні бульб картоплі, виражається рівнянням Дюпре:

$$W_a = \sigma_A + \sigma_B - \sigma_{AB}, \quad (2)$$

де  $\sigma_A$ ,  $\sigma_B$  – поверхневий натяг на межі поверхонь: бульба картоплі – повітря та частинка забруднень – повітря, Дж/м<sup>2</sup>;  $\sigma_{AB}$  – поверхневий натяг на межі поверхонь: бульба картоплі – частинка забруднень, Дж/м<sup>2</sup>.

Площа фактичного контакту між адгезивом і поверхнею бульби картоплі залежить від їх властивостей: енергетичних характеристик поверхонь контактуючих фаз, шорсткості поверхні плоду, умов формування адгезійного з'єднання, теплових і механічних властивостей адгезиву і поверхні бульби.

При розгляді диспергування речовин у конденсованому стані припускається, що для руйнування твердих забруднень або плівки рідких відкладень на поверхні бульб необхідно подолати когезійні сили, що забезпечують їх цілісність.

Робота, що затрачається на диспергування, буде складатися з роботи, необхідної для об'ємної деформації забруднень, та роботи, необхідної для утворення нових поверхонь при їх руйнуванні, та визначатиметься за рівнянням Ребіндера:

$$A = k \cdot V + \sigma \cdot \Delta S, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності, рівний роботі об'ємної деформації одиниці об'єму забруднень;  $V$  – об'єм забруднення;  $\sigma$  – енергія утворення одиничної поверхні;  $\Delta S$  – приріст поверхні забруднень.

Руйнування забруднень спочатку буде відбуватися у місцях, де є макро- та мікротріщини. При зменшенні частинок забруднень зростатиме енергія на їх руйнування.

При змочуванні забруднень водою відбувається проникнення рідини у пори між твердими частинками з утворенням прошарків рідкого дисперсійного середовища (рис. 2), тобто виникають коагуляційні структури. Зв'язок частинок у контактах структури відбувається за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил міжмолекулярної взаємодії. Для коагуляційних структур характерна низька міцність, високі пластичність та еластичність.

Змочування забруднень, що містяться на поверхні бульб картоплі, приводить до утворення нової фазової межі розділення тверде тіло – рідина замість вихідної тверде тіло – повітря, що буде супроводжуватися зменшенням поверхневої енергії Гіббса.

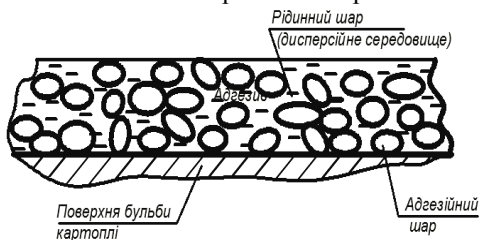


Рис. 2 – Фізична модель руйнування твердих забруднень

Теплота змочування зв'язана із зміною поверхневої енергії рівнянням Гіббса–Гельмгольца:

$$\begin{cases} U^S = \sigma - T \frac{d\sigma}{dT}; \\ q_{zm} = (U_{mn}^S - U_{mp}^S) \cdot S_{num} = \left[ \sigma_{mn} - \sigma_{mp} - T \frac{d(\sigma_{mn} - \sigma_{mp})}{dT} \right] \cdot S_{num}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $U^S$  – повна поверхнева енергія одиниці поверхні;  $S_{num}$  – питома поверхня забруднень, м<sup>2</sup>/кг;  $\sigma_{mn}$ ,  $\sigma_{mp}$  – відповідно поверхневий натяг на межі тверде тіло – повітря та тверде тіло – рідина;  $q_{zm}$  – теплота змочування, Дж/кг.

Оскільки, поверхневий натяг на межі тверде тіло – повітря більший, ніж на межі тверде тіло – рідина, то при змочуванні забруднень, що містяться на поверхні бульб картоплі, буде виділятися теплота.

На поверхні частинок забруднень, що диспергуються, утворюється сольватний шар рідини, який характеризується властивостями, відмінними від властивостей рідини у потоці. Орієнтація молекул у цьому шарі визначає властивості, які є характерними для квазітвердих тіл – високу в'язкість, пружність, опір зсуву, і перешкоджають взаємопроникненню шарів при зближенні частинок. Тому необхідно враховувати затрати роботи на подолання пружних сил або на часткову десорбцію молекул сольватної оболонки при зменшенні проміжку між частинками. Затрати роботи приводять до зростання потенціальної енергії.

Змочування поверхні бульб картоплі залежить від поверхневого натягу миючого і міжфазного розчину і міжфазного натягу на межі рідина – тверде тіло. Найбільш ефективно змочування і миття забезпечуються за мінімального поверхневого натягу миючого розчину. Для цього використовують два методи зниження поверхневого натягу води або миючого розчину: тепловий і з використанням поверхнево-активних речовин (ПАР).

При застосуванні ПАР завдяки великим розмірам їх молекул, що несуть свої власні сольватні оболонки, на поверхні частинок забруднень будуть створюватись адсорбційно-сольватні шари значної щільності, які утворюють «структурно-механічний бар'єр», що перешкоджає контакту частинок. Це сприяє стабілізації забруднень, при якій величина поверхневого натягу  $\sigma$  на зовнішній поверхні адсорбційно-сольватного шару є досить невеликою. Вводячи ПАР можна змінювати міцність адсорбційних шарів, а також керувати стійкістю дисперсної системи, змінюючи рН середовища. Адсорбція ПАР на твердій поверхні впливає на значення крайового кута змочування  $\theta$ .

Результат проведеного експериментального дослідження зміни крайового кута змочування  $\theta$  від температури та виду миючого розчину відображено графіком на рис. 3.

При додаванні в миючий розчин харчової соди спостерігається краще змочування бульб картоплі, ніж при митті водою або спиртом. При використанні мильного розчину крайовий кут найменший. Із зростанням температури миючого розчину крайовий кут зменшується, а отже, відбувається краще змочування поверхні бульб картоплі, що покращує процес відмивання сировини.

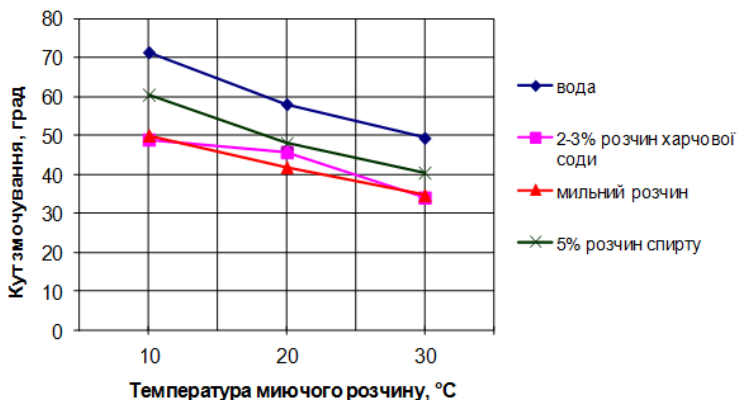


Рис. 3 – Зміна кута змочування залежно від виду і температури миючого розчину

При митті, крім диспергування відбувається пептизація забруднень – процес, зворотній коагуляції. Результатом пептизації є розрізнення частинок і розподілення їх за всім об’ємом дисперсійного середовища. Енергія при пептизації затрачується на подолання міжмолекулярних сил, а затрати роботи на утворення нових поверхонь не відбувається.

Пептизація забруднень залежить від часу, який пройшов із моменту коагуляції, тому що з часом за близької взаємодії частинок проходить поступове їх зрощування та зменшення дисперсності і поверхневої енергії.

**Висновки.** Проведений аналіз з’єднання забруднень із поверхнею бульб картоплі дозволяє встановити основні фактори, які впливають на роботу при його руйнуванні. Ефективність процесу миття буде забезпечуватись зменшенням поверхневого натягу миючої рідини.

#### Література

1. Богданова Ю.Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: Учеб. пособие для студ. по спец. «Композиционные наноматериалы». – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2010. – 68 с.
2. Гончаренко Г.М. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв: довідник / Г.М. Гончаренко, В.В. Дуб, В.В. Гончаренко. – Київ: Центр учбової літератури, 2007. – 304 с.

3. Евстратова К.И., Купина Н.А., Малахова Е.Е. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высшая школа, 1990. – 486 с.

4. Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум, С.С. Танчев, М.А. Гришин. – М.: Агропромиздат, 1986. – 494 с.

*Рецензент д.т.н. проф. В.Ф. Дідух*