

- качества колбасных изделий / А. Б. Лисицин, И. М. Чернуха, А. А. Семёнова, В. А. Алексахина // Всё о мясе. – 2006. – № 1. – С. 4–7.
3. Патент 988845 АС СССР, МПК С09В61/00. Способ получения пищевого красителя из кошенили / Касумов М. А., Амирова Г. С., Алекперов У. К., Мусаев В. Р.; заявитель и патентообладатель Воронежская государственная технологическая академия. – 3265185/28-13, заявл. 13.05.1981, опубл. 15.01.1983.
  4. Патент 2381245 Российская Федерация, МПК С09В61/00. Способ получения концентрированного красителя / Дейнека Л. А., Дейнека В. И., Чулков А. Н. и др.; патентообладатель ГОУВПО Белгородский ГУ 2008128186/13; заявл. 10.07.2008, опубл. 10.07.2010.
  5. Патент 2172754 Российская Федерация, МПК С09В61/00. Способ получения натурального пищевого красителя / Кацерикова Н. В., Мусин Ю. В., Остроумов Л. А. патентообладатели авторы, 99112789/13; заявл. 11.06.1999; опубл. 27.08.2001.
  6. Патент 2134280 Российская Федерация, МПК С09В61/00. Способ получения пищевого флавоноидного красителя из растительного сырья / Черепнин В. С., Болотов В. М., Зотов А. П. и др.; патентообладатель Воронежская государственная технологическая академия; 98101678/13; заявл. 04.02.1998; опубл. 10.08.1999.
  7. Патент 2399639 Российская Федерация, МПК С09В61/00. Способ получения антоцианового красителя из растительного сырья / Усанов Д. А., Тырнов В. С., Вагарин А. Ю.; патентообладатель ГОУВПО Саратовский ГУ им. Н. Г. Чернышевского, ООО Волга-Технология; 2009118266/13; заявл. 15.05.2009; опубл. 20.09.2010.

УДК 620.172.21:635.21.24

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ М'ЯКОТІ БУЛЬБ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ОДНООСЬОВОГО СТИСНЕННЯ

А. В. Шеїна

Однією з найважливіших сільськогосподарських культур, урожай якої використовується для виробництва продуктів харчування, кормів і сировини для промисловості, є картопля. Останнім часом світові площі під картоплею становили понад 18 млн га. В Україні картопля вирощується на площі майже 1,6 млн га, що становить 9 % світових площ. Згідно з даними статистики, це третій показник по площах у світовому масштабі. Валовий збір цього продукту у світі становить приблизно 265 млн т, з яких більше 6 % зібрано на українських полях. Лише у 2010 р. урожай картоплі на Україні становив 18 млн т.

Варто відзначити харчову цінність цієї культури. Картопля не лише багата крохмалем, але й відрізняється великими запасами енергії і білка на одиницю площі. Зі 100 грам

картоплі задовольняється денна потреба людини у білку на 8 %, залозі на 10 %, у вітаміні С – на 30 %, у вітаміні В – на 10 %.

Таким чином, значення картоплі в майбутньому не лише не знизиться, а, навпаки, зросте. Вже сьогодні картопля є однією з найбільш використовуваних сільськогосподарських культур у генній інженерії, метою якої є забезпечення більшої врожайності та поліпшення харчових цінностей продукції.

Проте харчова сировина рослинного походження при заготівлі, збиранні, транспортуванні, зберіганні, особливо при переробці, піддається різним механічним впливам (зминанню, зрізу, удару), що, у свою чергу, призводить до зміни показників якості продукту. Отже, виробничі процеси на підприємствах харчування повинні здійснюватися таким чи-

ном, щоб забезпечити максимально високий рівень якості готової продукції. Для забезпечення цих вимог важливими є знання реологічних властивостей сировини.

Завдання реології полягає у дослідженні співвідношення між напругою, що діє на тіло, та деформацією, яка виникає внаслідок цього напруження. Рослинна сировина – це реальні тіла, яким характерні певні реологічні ознаки. Залежно від виду, тривалості та швидкості навантаження деякі з цих ознак можуть проявлятися більшою мірою, тоді як інші ледве помітні і відповідно при обраному способі навантаження ними нехтують. Саме тому для повної кількісної оцінки реологічних властивостей продукту необхідно застосовувати різні методи навантаження.

Метою статті є визначення меж міцності м'якоті бульб картоплі в умовах одноосьового стиснення і величини відносної деформації при постійних швидкостях навантаження зразків продукту.

Опір бульб деформації і руйнуванню визначається складними процесами, характер яких залежить від природи та фізичного стану тіла, що деформується, виду і режиму механічного навантаження, умов проведення експерименту та багатьох інших чинників.

Відомо, що сировина рослинного походження складається з клітин, товщина оболонки яких може бути від десятих частин мікрона до десятків мікрон. Стінки клітин досить жорсткі, вони визначають розмір і форму самих клітин, і відповідно загальну структуру бульби. Внутрішній гідростатичний тиск у клітинах сприяє виникненню внутрішнього напруження, яке залежить від фізіологічного стану рослини. Але навіть за наявності цих чималих напружень відносна деформація оболонки досить мала. Це свідчить про те, що оболонка рослинних клітин досить міцна і за умов навантаження добре зберігає розміри клітин.

При деформуванні клітини змінюється площа її поверхні. Деформовані клітини передають тиск на сусідні, також деформуючи їх, хоч і меншою мірою. Саме гранично допустимі деформації клітин і є чинником, який обмежує дію на бульби як статичних, так і динамічних навантажень.

Під час транспортування, зберігання та первинної обробки бульб картоплі основними чинниками, що сприяють деформації і руйнуванню продуктів, будуть такі: навантаження, тривалість дії зовнішньої сили. В сукупності вони і дають ті умови, при яких відбувається руйнування або пошкодження бульб.

Найпростішим способом навантаження для аналізу реологічної поведінки твердих харчових продуктів є стиснення між двома плоскопаралельними пластинами. Зразок продукту площею поперечного перетину  $A_0$  і початковою висотою  $h_0$  навантажують з постійною швидкістю  $v$ , а силу стиснення, яка виникає при цьому, вимірюють як функцію висоти  $F(h)$ . Відзначимо, що у багатьох твердих харчових продуктах при стисненні спостерігаються великі деформації, які передують руйнуванню, і спричиняють значну зміну величин  $A_0$  і  $h_0$ .

З метою дослідження реологічних характеристик плодоовочевої сировини на базі кафедри обладнання харчових виробництв ДонНУЕТ була розроблена експериментальна установка, яка дозволяє визначати зусилля при одноосьовому стисненні та руйнівні напруги при різних швидкостях навантаження.

Установка складається з блоку керування, власне механічної частини, кінематична схема якої зображена на рис. 1, та комплексу для зчитування і обробки експериментальних даних.

Дослідження проводилися таким чином. Попередньо підготовлений зразок продукту (11), визначеної форми і розмірів, розміщували на підставці (10), яка регулюється по висоті та зафіксована на станині (9). Балансували тензометричні мости, після чого вмикали механізм подачі. Рух від електродвигуна (1) через клиноременну (2) та гвинтову (3) передачі передавався корпусу (5), який утримує балку з тензометричними датчиками (6) та з'єднаний з хвостовиком (7); останній, при цьому рухається поступально. До хвостовика прилаштовано металевий поршень циліндричної форми (8), який вступає у взаємодію із зразком продукту. У момент стискання зусилля від поршня передається на тензобалку (6) та призводить до її деформації, що спричиняє зміну сигналу тензодатчиків. Сигнал від тензодатчиків пере-

дається до одноканальних підсилювачів LP-04/2, перетворюється за допомогою АЦП та поступає до бази персонального комп'ютера. Для повернення корпусу з хвостовиком у початковий стан вмикається кнопка «реверс» на пульті керування. Результати експериментальних досліджень отримуються у вигляді осцилограм параметрів стискання у реальному масштабі часу.

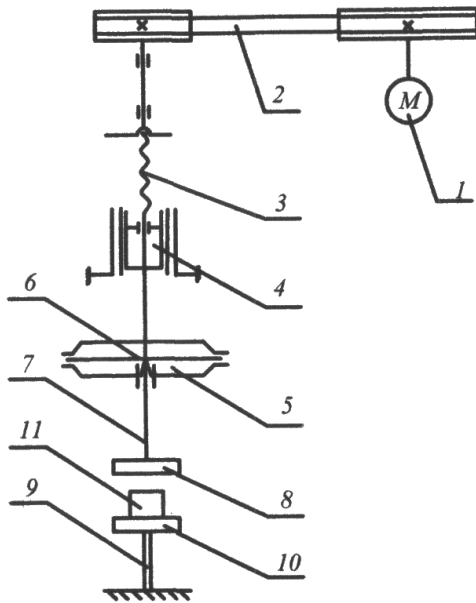


Рис. 1. Кінематична схема дослідної установки

Ми дослідили зразки м'якоти бульб картоплі з різними постійними швидкостями відносної

деформації. Для експерименту за допомогою спеціального приладу підготовлювався зразок продукту циліндричної форми діаметром 20 мм і висотою 15 мм. Використовувалася картопля терміном витримки до 3 місяців, температурою 18...20 °С. Швидкість відносної деформації змінювалася за допомогою приводу у діапазоні від 0,005 до 0,015 м/с. Під час проведення експерименту фіксувалися початкова та кінцева висота зразків.

Приймалося допущення, що об'єм зразка, який деформується, залишається постійним, оскільки він складається з рідини та твердих речовин, котрі практично не стискаються, а кількість газоподібних речовин незначна.

Тоді є справедливою залежність:

$$F_i = F_0 + \frac{1}{1 - \varepsilon_i},$$

де  $F_0$  – початкове значення площі поперечного перетину зразка, м<sup>2</sup>;

$F_i$  – значення площі поперечного перетину зразка у заданий момент часу, м<sup>2</sup>;

$\varepsilon_i$  – відносна деформація зразка продукту у заданий момент часу.

Позначимо висоту зразка, який зменшується при стисненні, як функцію часу  $h(t)$ . Площа поперечного перетину при цьому буде зростати і становитиме деяке значення  $A$  (рис. 2).

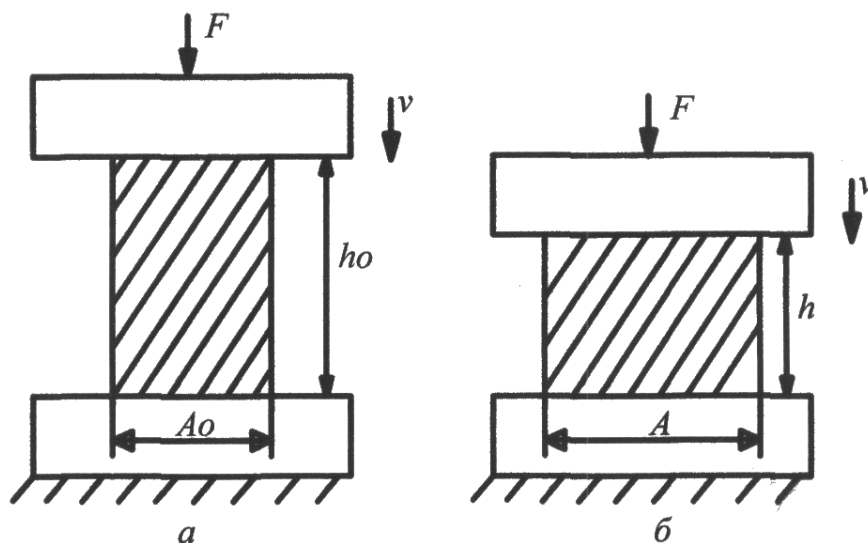


Рис. 2. Деформування зразка продукту при стисненні:

а) до стиснення; б) після стиснення

Стискаюча сила, яка вимірюється приладом, є функцією відносного стиснення і зростає у разі збільшення деформації.

За умов постійної швидкості навантаження висота зразка змінюється за формулою

$$h = h_0 - v \cdot t.$$

Відносна деформація зразка в напрямку дії сили визначається за формулою

$$\varepsilon = (h_0 - h) / h,$$

а швидкість деформації – за формулою

$$\varepsilon = v/h = v/(h_0 - v t).$$

Напруга стиснення визначається так:

$$\sigma = F/A,$$

де  $F$  – зусилля стиснення,  $N$ ;

$A$  – площа поперечного перетину зразка продукту, яка контактує з поверхнею металевого поршня,  $m^2$ .

Результати досліджень було представлено у вигляді графіків на рис. 3.

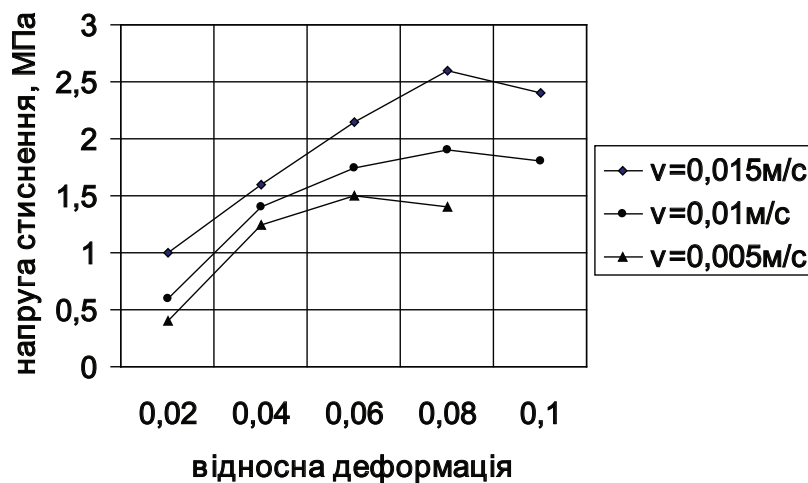


Рис. 3. Залежність напруги стиснення від відносної деформації при різних швидкостях деформування зразків продукту

Проведені дослідження дозволили визначити межу міцності м'якоті бульб картоплі за умов одноосового стиснення при постійних швидкостях навантаження та критичні значення відносної деформації зразків. Аналіз графіків свідчить про те, що межа міцності м'якоті бульб картоплі коливається в інтервалі від 1,5 до 3 МПа і залежить від швидкості деформації. Різке падіння кривої на графіках обумовлено початком руйнування клітин м'якоті, тобто незворотнім деформуванням зразків. Слід зазначити, що цей етап настає при досягненні відносною деформацією значення 0,078–0,100 і не залежить від швидкості деформування.

Перспективами подальших досліджень є складання моделі, яка відображатиме пружні та в'язкісні властивості м'якоті картоплі, до-

слідження процесу деформування зразків за умов постійного напруженого стану та процесу релаксації з метою подальшого вивчення реологічних властивостей сировини.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Реометрия пищевого сырья и продуктов : справочник / под ред. Ю. А. Мачихина. – М. : Агропромиздат, 1990. – 271 с.
2. Николаев Б. А. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов / Б. А. Николаев. – М. : Экономика, 1964. – 224 с.
3. Мачихин Ю. А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю. А. Мачихин, С. А. Мачихин. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.