

ПЕНЕТРОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ РОСЛИННИЦЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ

Ю. І. Посудін, доктор біологічних наук, професор¹

Розглядається пенетрометричний метод оцінювання твердості продуктів на основі вимірювання сили, яку треба прикласти до плунжеру пенетрометра, щоб втиснути його в продукт, та обчисленні показника твердості матеріалу продукту шляхом визначення коефіцієнтів стискування та зсуву речовини продукту.

Твердість, пенетрометр, коефіцієнт стискування, коефіцієнт зсуву.

Точне об'єктивне визначення якості сільськогосподарських продуктів та сортування їх згідно рівням якості є одним з найважливіших завдань сучасного сільськогосподарського виробництва. В останні роки було розроблено різноманітні інструментальні засоби та чутливі штучні сенсори, які здатні замінити суб'єктивне оцінювання якості продуктів і можуть бути застосовані для визначення якості сільськогосподарської продукції в потоці, тобто в умовах конвеєра, що забезпечує підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва та зменшення собівартості продукції.

Механічні методи передбачають оцінювання механічної деформації – зміни взаємного розташування множини частинок матеріального середовища, яка призводить до спотворення форми та розмірів тіла або його частин і викликає зміну сил взаємодії між частинками, тобто виникнення механічних напружень [1].

Важливим механічним параметром продукту є *твердість* – характеристика, що відбиває його міцність і пластичність, яка оцінюється як сила, що викликає певну деформацію.

Одним з поширених методів визначення твердості є пенетрометричний (від англ. *penetrate* – проникати) метод, сутність якого полягає у вимірюванні максимальної сили, яку треба прикласти до механічного плунжера, щоб він проникнув у продукт. Опис різних конструкцій пенетрометрів можна знайти в літературі [2,3]. Практичне застосування пенетрометричних методів супроводжується пошуком надійних параметрів твердості.

Мета дослідження – розглянути можливості застосування коефіцієнтів стискування та зсуву речовини продукту як параметрів його твердості.

Матеріали і методи дослідження. Типову геометрію та розміри пенетрометра наведено на рис. 1.

Коли плунжер прямокутного перерізу проникає у продукт, відбувається стискування продукту, яке пропорційне площі плунжера, та зсув речовини продукту, пропорційне периметру плунжера. Ці процеси можна описати таким рівнянням:

$$F = K_{cm}S + K_{zc}P + C, \quad (1)$$

де F – сила, що прикладена до плунжера; K_{cm} – коефіцієнт стискування

речовини ($\text{H}/\text{мм}^2$); $K_{зс}$ – коефіцієнт зсуву речовини ($\text{H}/\text{мм}$); S – площа перерізу плунжера (мм^2); P – периметр плунжера (мм); C – стала.

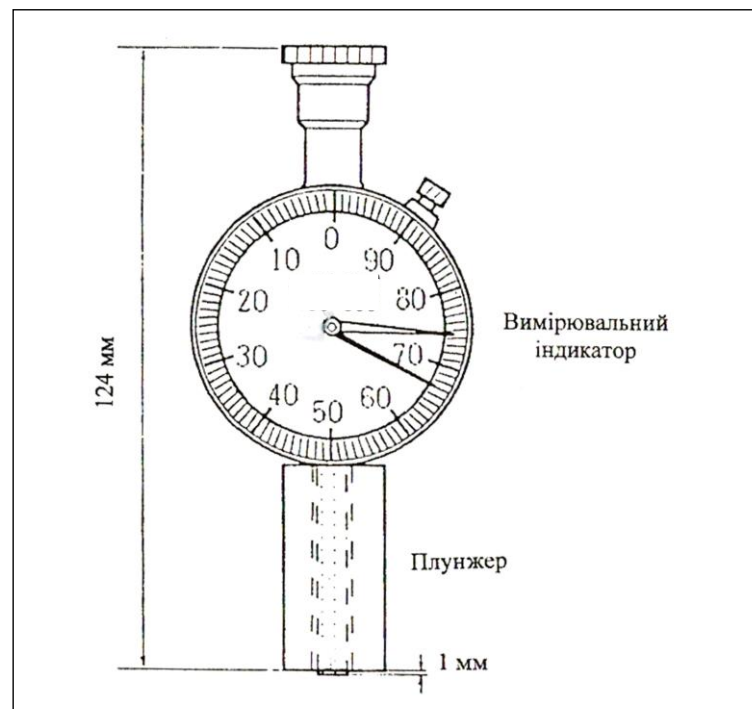


Рис. 1. Загальний вигляд пенетрометра для визначення твердості продуктів

Використовуючи плунжери з різними площами перерізу та сталим периметром, можна отримати криву залежності сили F від площі S , нахил цієї кривої дорівнює величині коефіцієнта стискування $K_{см}$, тоді як перетин кривої з вертикальною віссю дає можливість визначити величину $K_{зс}P + C$ (рис. 2).

Якщо використовувати плунжери сталої площі перерізу S , варіюючи периметр плунжера, то крива залежності сили F від периметру P дає можливість визначити величину коефіцієнта зсуву $K_{зс}$, а перетин кривої з вертикальною віссю дає можливість визначити величину $K_{см}S + C$ (рис. 3).

Ці операції дають можливість оцінити твердість продукту як силу проникнення плунжера в продукт за допомогою рівняння (1) після підстановки в це рівняння числових значень коефіцієнтів $K_{см}$, $K_{зс}$ та сталої C .

Результати дослідження та їх аналіз. Розглянемо приклад застосування пенетрометричного методу визначення твердості продуктів. Для

вимірювань було застосовано прямокутні плунжери сталого периметру ($P=40$ мм) та різних площ поперечного перерізу (100 мм²; 75 мм²; 50 мм²; 25 мм²), а також плунжери сталої площі перерізу ($S=100$ мм²) та різних периметрів (40 мм; 55 мм; 70 мм; 85 мм). Параметри плунжерів наведено в таблиці 1.

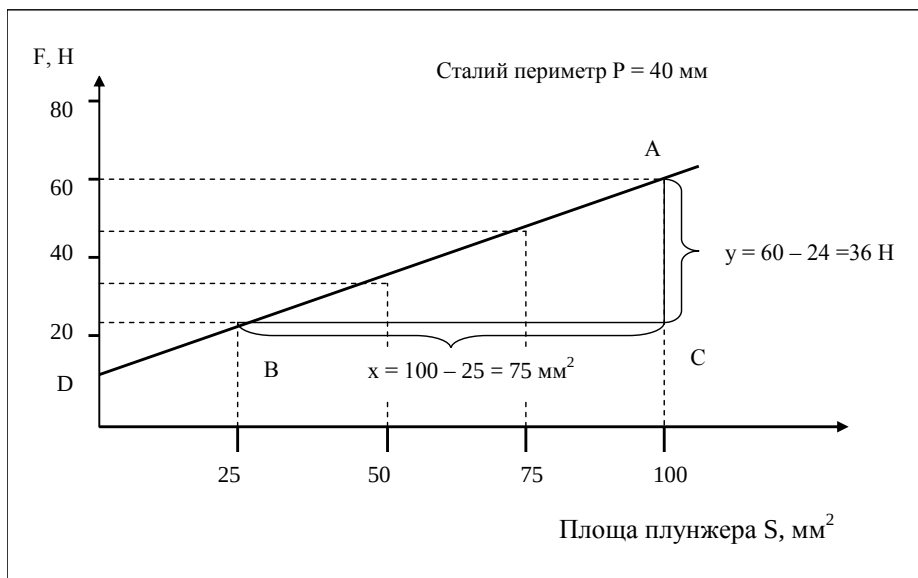


Рис. 2. Залежність сили F , прикладеної до плунжерів з різними площами перерізу та сталим периметром $P = 40$ мм, від площі S поперечного перерізу

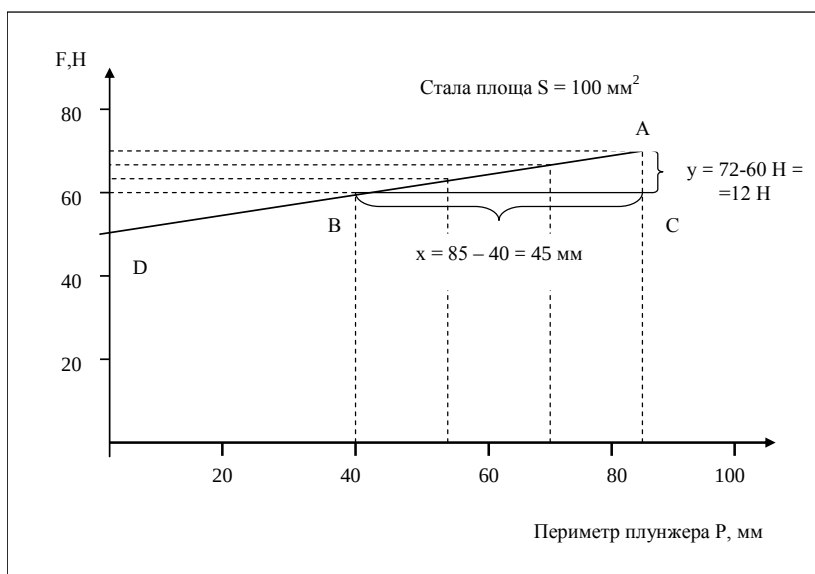


Рис. 3. Залежність сили F , прикладеної до плунжерів з різними периметрами та сталою площею $S = 100\text{мм}^2$, від периметру P плунжера

1. Параметри плунжерів

Сталий периметр $P = 40\text{ мм}$		Стала площа $S = 100\text{ мм}^2$	
$F, \text{ Н}$	$S, \text{ мм}^2$	$F, \text{ Н}$	$P, \text{ мм}$
60	100	72	40
46	75	67	55
34	50	63	70
24	25	60	85

Результати застосування плунжерів з різними площами перерізу та сталим периметром $P=40\text{ мм}$ дозволяють побудувати залежність сили F , прикладеної до плунжеру, від площі S поперечного перерізу (рис. 2).

Тангенс нахилу залежності $F=f(S)$ дає можливість визначити коефіцієнт стискування $K_{cm} = y/x = (60 - 24)/(100 - 25) = 0,48\text{ Н/мм}^2$.

Результати застосування плунжерів з різними периметрами та сталою площею $S=100\text{ мм}^2$ дозволяють побудувати залежність сили F , прикладеної до плунжеру, від периметру P (рис. 3).

Тангенс нахилу залежності $F=f(P)$ дає можливість визначити коефіцієнт зсуву $K_{zc} = y/x = (72 - 60)/(85 - 40) = 0,27\text{ Н/мм}$.

Перетин залежності $F=f(S)$ з віссю ординат дає можливість визначити сталу C :

$$F = K_{zc}P + C.$$

Підставляючи числові дані в рівняння (1), одержимо

$$10 = 0\text{ Н} + 0,27\text{ Н/мм} \cdot 40\text{ мм} + C,$$

звідки

$$C = 10 - 10,8 = - 0,8\text{ Н}.$$

Сталу C можна також визначити з перетину залежності $F=f(P)$ з віссю ординат. Типові значення коефіцієнтів K_{cm} , K_{zc} та сталої C для різних продуктів наведено в табл. 2.

2. Числові значення коефіцієнтів, що характеризують проникнення плунжера в продукт [2]

Продукт	$K_{cm}, \text{Н/мм}^2$	$K_{zc}, \text{Н/мм}^2$	$C, \text{Н}$
Яблуко	0,737	0,157	0,294
Морква	2,75	0,0294	21,4
Картопля	1,06	0,509	5,88
Буряк	2,90	0,843	1,47

Висновки. Пенетрометричний метод оцінювання твердості продуктів на основі вимірювання сили, яку треба прикласти до плунжеру пенетрометра, щоб втиснути його у продукт, та обчислення показника твердості матеріалу продукту шляхом визначення коефіцієнтів стискування та зсуву речовини продукту характеризується простотою та швидкістю й може бути застосований в умовах сільськогосподарського виробництва.

Список літератури

1. Посудін Ю. І. Методи неруйнівної оцінки якості та безпеки сільськогосподарських і харчових продуктів / Ю. І. Посудін. – К. : Арістей, 2005. – 407 с.
2. Bourne M. C. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement / M. C. Bourne. – 2-d ed. – San Diego : Academic Press, 2002. – 445 p.
3. Magness F. R. An improved type of pressure tester for determination of fruit maturity / F. R. Magness, G. F. Taylor // USDA Circular 350. – Washington, 1925.

Рассматривается пенетрометрический метод оценки твердости продуктов на основе измерения силы, которую нужно приложить к плунжеру пенетрометра, чтобы втиснуть его в продукт, и вычисления показателя твердости продукта путем определения коэффициентов сжатия и сдвига материала продукта.

Твердость, пенетрометр, коэффициент сжатия, коэффициент смещения.

A penetration method of estimating firmness of the product is based on measuring the force required to push a punch into product and calculating the firmness index through determination of the compression and shear coefficients of the product being tested.

Firmness, penetrometer, compression coefficient, shear coefficient.