

УДК 631.22.014

## ЗМІНИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ В ПРОЦЕСІ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ

Шацький В.В., д.т.н.,

Дем'яненко Д.В., аспірант\*,

Чаплинський А.П., інженер

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (0619) 42-05-70

**Анотація** – у статті розглянуто вплив теплової обробки на фізико-механічні властивості зернових кормів, отримані залежності зміни маси, коефіцієнтів тертя та вологості від температури та часу обробки.

**Ключові слова** – фізико-механічні властивості, коефіцієнт тертя, вологість, кут природного укусу, зернові корми, теплова обробка, інфрачервоне випромінювання, мікронізація.

*Постановка проблеми.* Якість комбикормів залежить від якості підготовки їх до згодовування. Перспективним напрямком в галузі кормоприготування є процес інфрачервоного опромінення зернових компонентів, що входять до складу комбикормів – мікронізація [1]. В процесі теплової обробки зерна змінюються фізико-механічні властивості матеріалу, який оброблюється, що суттєво впливає на параметри його взаємодії з робочим органом і, в цілому, – на одношарове дозоване переміщення по площині обробки, що є важливим фактором якості теплового процесу. Зміни фізико-механічних властивостей зернових матеріалів в процесі теплової обробки потребують відповідних змін параметрів робочих органів механізму його одношарової дозованої подачі. Для визначення закономірностей змін параметрів обладнання необхідно знати залежності фізико-механічних властивостей зернових матеріалів від температури та часу обробки. Без цих даних неможливо побудувати математичну модель процесу якісної подачі зерна та визначити оптимальні параметри теплової обробки.

*Аналіз попередніх досліджень* показує, що існує багато літературних джерел, де приведені фізико-механічні властивості зерна [2], але результатів досліджень, що виявили би залежності одночасної зміни маси, коефіцієнтів тертя і вологості від температури та часу обробки, нами не виявлено.

*Метою роботи* є обґрунтування оптимальних параметрів про-

цесу волого-теплової обробки зернових кормів шляхом математичного моделювання одношарової дозованої подачі зернового матеріалу по площині обробки на основі отримання залежностей коефіцієнтів тертя, маси, вологості від температури та часу обробки зернового матеріалу.

*Метод досліджень* має на меті створення умов близьких до умов процесу обробки зерна інфрачервоним випромінюванням (мікронізації).

Методика отримання залежностей маси та вологості трьох видів зерна (соя, ячмінь та жито) від температури та часу обробки включала згідно з [3] наступні етапи: збільшення вологості всіх навісок зерна до 20% та її контроль за допомогою вологоміру ВСП-100 (рис. 3), відбір проб масою 2 г з кожної навіски для проведення дослідів в п'ятикратній повторності.



Рис. 1. Лабораторний вологомір ВСП-100 та мультиметр UNI-T UMT133C з термопарою

Підігрів зерна та сушка проб проводилася на протязі 180 секунд у аналізатору вологості «AXIS» (рис. 2) при температурі 130°C з динамічним зважуванням та контролем вологості.



Рис. 2. Лабораторний аналізатор вологості «AXIS»

Залежності коефіцієнту тертя від температури та часу нагрівання були отримані на лабораторній установці ТМ21-А (рис. 3), де зерно та поверхня тертя підігрівались до заданої температури 130°C та поступово визначались коефіцієнти тертя на кожному етапі зміни температури згідно методичним вказівкам [4].



Рис. 3. Лабораторна установка для визначення коефіцієнту тертя ТМ21-А

Для визначення коефіцієнту внутрішнього тертя необхідно знати кут природнього укосу для кожного матеріалу, який було визначено на лабораторній установці типу УВТ-3М (рис. 4) згідно з вказівками [5].



Рис. 4. Лабораторна установка для визначення кута природнього укосу типу УВТ-3М

*Основна частина.* Отримані залежності демонструють характер зміни маси та вологості навісок різних зернових культур в залежності

від часу обробки.

Маса частинок знижується з різною інтенсивністю (рис. 5). Так маса навішення зерна сої у середній кількості 11 зернин змінюється при обробці при температурі 130°C згідно нелінійної залежності  $M_{\text{нс}} = 0,0003x^2 - 0,014x + 2,0137$ . Маса наважок ячменю (52 зернини) та жита (63 зернини), відповідно,  $M_{\text{ня}} = 0,0007x^2 - 0,0237x + 2,0265$  і  $M_{\text{нж}} = 0,0003x^2 - 0,019x + 2,0262$ .

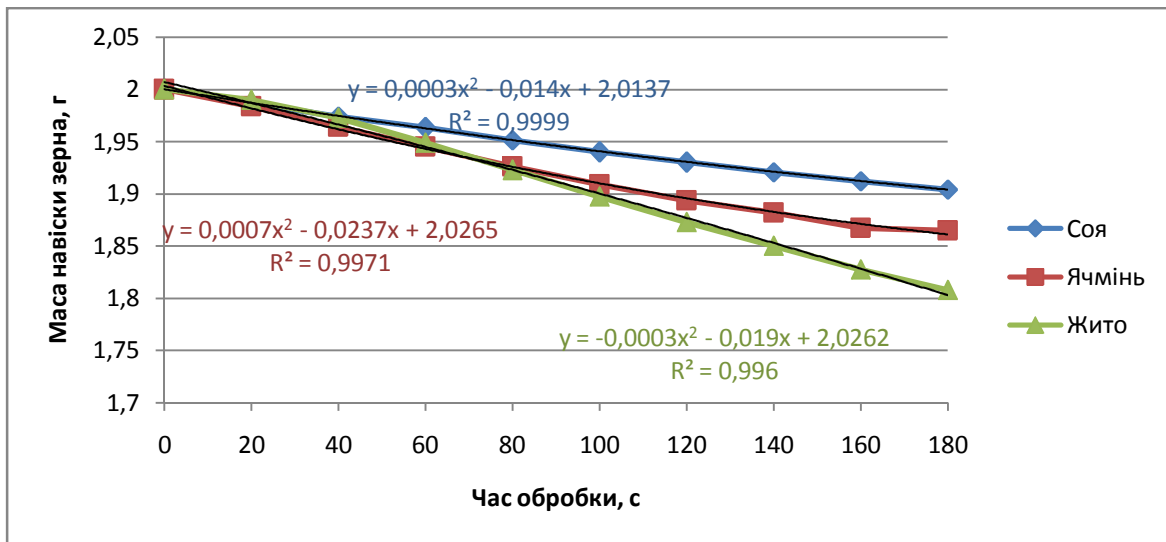


Рис. 5. Залежність маси навіски зерна від часу теплової обробки

Маса наважок знижується різною мірою через те, що вплив температури в 130°C на частинки різного розміру і щільності проявляється неоднаково. Необхідно експериментально визначити площу поверхні зернин кожного виду матеріалу. Для цього використовувалася методика визначення еквівалентного діаметра зерна. Визначався еквівалентний діаметр зерна наступним чином: з партії зерна, керуючись методикою, відбиралася навіска масою 0,5 кг. З проби виділялися дві наважки зерна по 5 г і від кожної з них відбиралось по 100 зерен. Зважувались відібрані 100 зерен і визначалася середня маса одного зерна. В наповнений гасом мірний циліндр поміщалися 100 відібраних зерен і за різницею відміток рівня гасу до і після занурення зерен знаходився середній обсяг зерна  $V_3$ , см<sup>3</sup>.

Визначення середнього об'єму одного зерна  $V_3$  повторювалося ще раз на іншій партії з 100 зерен і для подальших розрахунків приймалося середнє значення з двох визначень.

З отриманого значення об'єму зерна був знайдений еквівалентний діаметр для кожного виду зерна  $D_e$  за формулою

$$D_e = 1,24\sqrt[3]{V_3}, \quad (1)$$

де  $V_3$  – середній обсяг навіски зерна.

З отриманого значення  $D_e$  визначають питому площу поверхні

$S_n$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$  вихідного зернового матеріалу за формулою

$$S_n = \frac{6}{\rho \cdot D_z}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – щільність зернового матеріалу,  $\text{г}/\text{см}^3$  (для сої –  $0,75\text{г}/\text{см}^3$ ; для ячменю –  $0,61\text{ г}/\text{см}^3$ ; для жита –  $0,67\text{г}/\text{см}^3$ ).

Оскільки середня маса однієї зернини кожного виду матеріалу відома, можна визначити площу поверхні одиничної частинки зерна, яка в середньому становить  $47,9\text{мм}^2$ ,  $19\text{мм}^2$  і  $16,8\text{ мм}^2$  для сої, ячменю та жита відповідно. Припустимо, що вплив тепла здійснюється на половині цих площ. Знаючи середню кількість зерен у кожному навішуванні, яка становить 11 для сої, 52 для ячменю і 63 для жита, можемо отримати співвідношення площі теплової обробки і вологи в зерні, які становлять, відповідно,  $1,32\text{ мм}^2/\text{мг}$  для сої,  $2,47\text{ мм}^2/\text{мг}$  для ячменю і  $2,65\text{ мм}^2/\text{мг}$  для жита.

Розраховані співвідношення підтверджують отримані в ході лабораторних досліджень залежності, а саме те, що найбільш інтенсивне випаровування вологи проходить в тому виді зерна, де співвідношення площі теплової обробки і вологи в зерні найбільше.

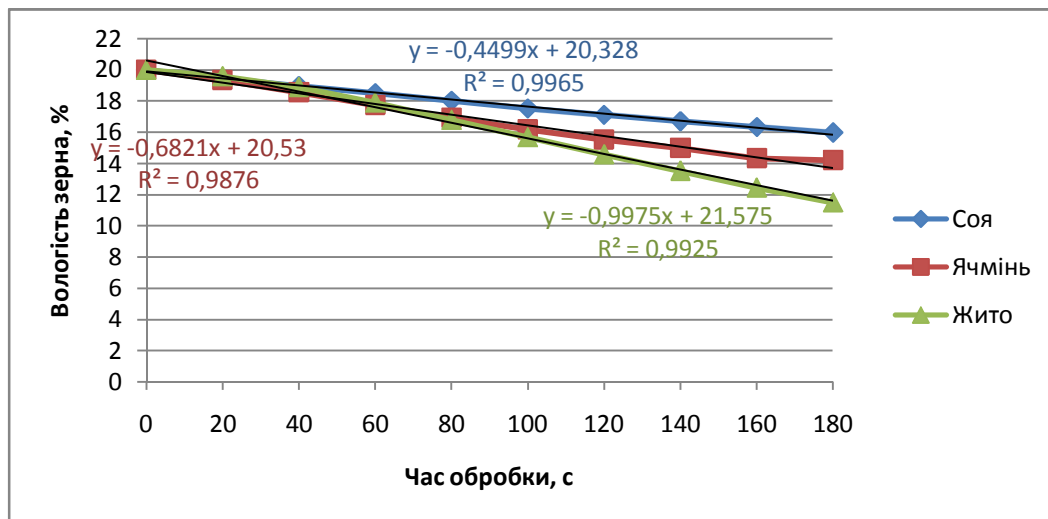


Рис. 6. Залежність вологості зерна від часу теплової обробки

Залежності вологості для різних видів зернового матеріалу від часу теплової обробки описуються наступними рівняннями: для сої  $y = -0,4499x + 20,328$ ; для ячменю  $y = -0,6821x + 20,53$ ; для жита  $y = -0,9975x + 21,575$ . Отримані значення дозволили розрахувати масу залишкової вологи в зернін (рис. 6).

Залежності зміни маси залишкової вологи в зерні від часу обробки для різних видів зернового матеріалу (рис. 7) виглядають таким чином: для сої  $y = 0,0003x^2 - 0,014x + 0,4137$ ; для ячменю  $y = -0,0158x + 0,4107$ ; для жита  $y = -0,0226x + 0,4335$ .

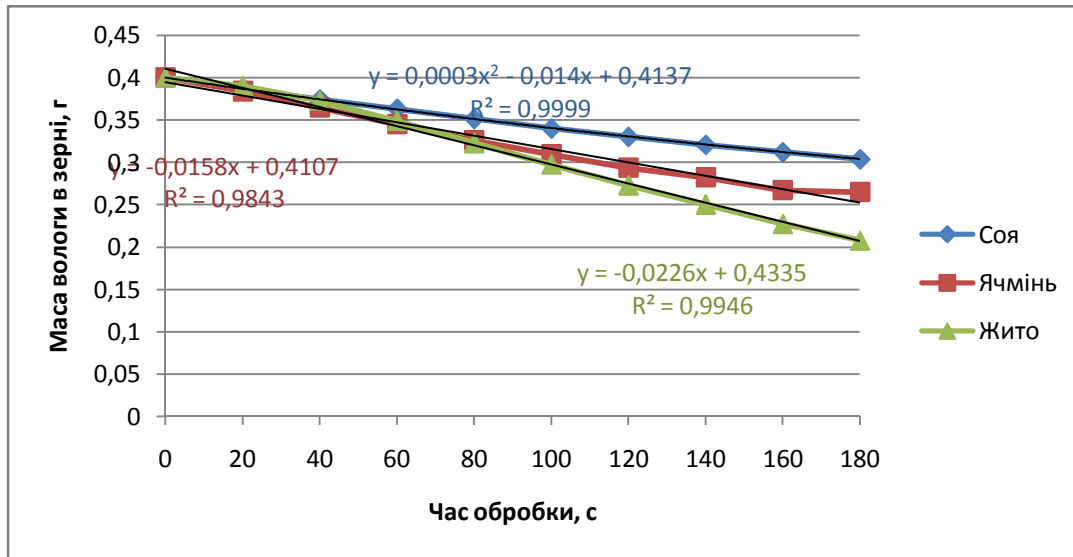


Рис. 7. Залежність маси залишкової вологості в зерні від часу обробки

При обґрунтуванні оптимальних параметрів процесу вологотеплової обробки зернових кормів шляхом математичного моделювання одношарової дозованої подачі зернового матеріалу по площині обробки використовується метод дискретного елемента. Для цього необхідно отримати залежності не тільки для наважок зерна, а й для окремих частинок кожного з досліджуваних матеріалів. Оскільки кількість частинок в кожному навішуванні відома, отримуємо залежності маси і вологості від часу обробки для однієї частинки кожного виду зерна, а також залежність маси вологості в одиничній частинці зерна від часу обробки.

Залежності зміни маси одиничної частинки для різних видів зернового матеріалу (рис. 8) виглядають таким чином: для сої  $y = 3e-05x^2 - 0,0012x + 0,1754$ ; для ячменю  $y = 2e-05x^2 - 0,0005x + 0,0386$ ; для жита  $y = 1e-06x^2 - 0,0004x + 0,032$ .

Різна інтенсивність зміни вологості пояснюється тим, що досліджувані види матеріалу мають різне співвідношення площі теплової обробки і вологості в зерні, які складають 1,32 мм<sup>2</sup>/мг для сої, 2,47 мм<sup>2</sup>/мг для ячменю і 2,65 мм<sup>2</sup>/мг для жита відповідно.

Маса вологості в одиничній частинці зерна і температура зерна і робочої поверхні для різних видів зернового матеріалу (рис. 9) знаходяться в нелінійній залежності і описуються рівняннями: для сої  $y = 3e-05x^2 - 0,0012x + 0,0351$ ; для ячменю  $y = 2e-05x^2 - 0,0005x + 0,0079$ ; для жита  $y = 1e-06x^2 - 0,0004x + 0,0066$ . Нелінійність зміни вологості можна пояснити тим, що зі зменшенням кількості вологості в зерні, інтенсивність її випаровування також зменшується.

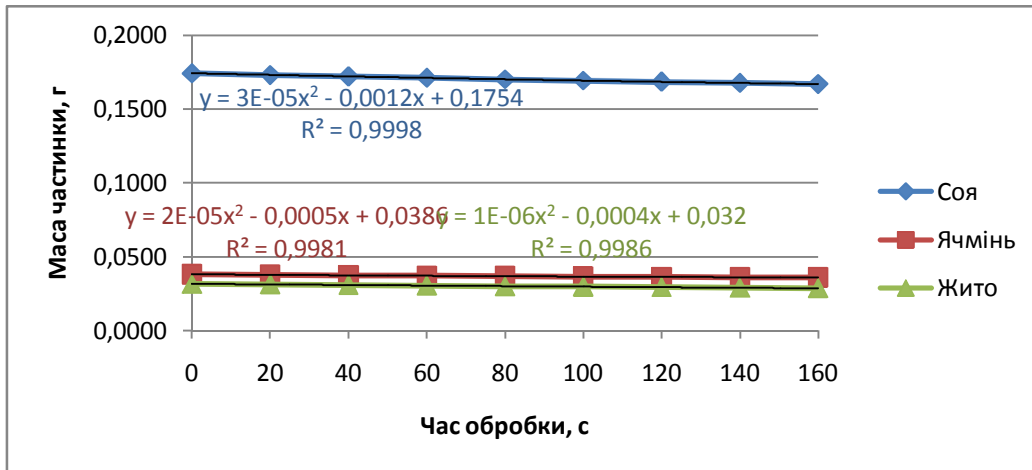


Рис. 8. Залежність маси одиначної частинки від часу обробки

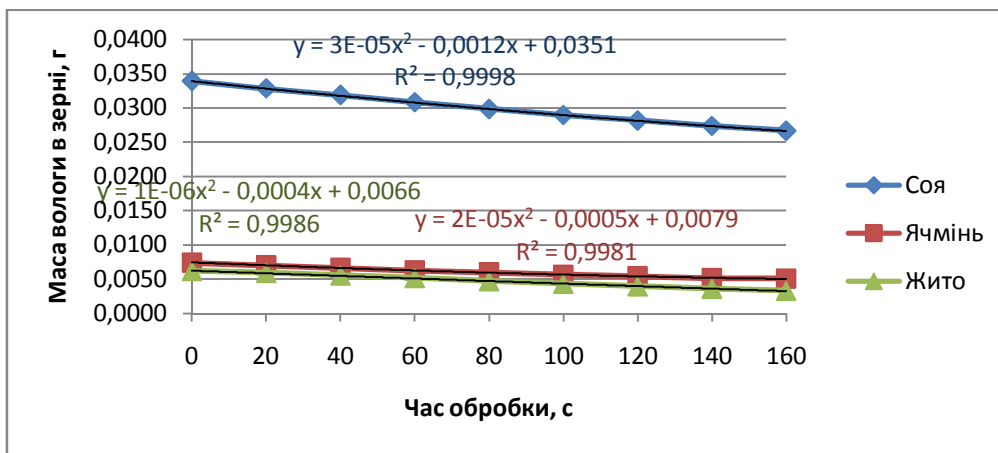


Рис. 9. Залежність маси вологи в одиначній частці зерна від часу обробки

Також були отримані залежності коефіцієнта зовнішнього тертя від температури і часу обробки для різних ступенів нагріву. Результати вимірювань зображені графічно на рисунку 10.

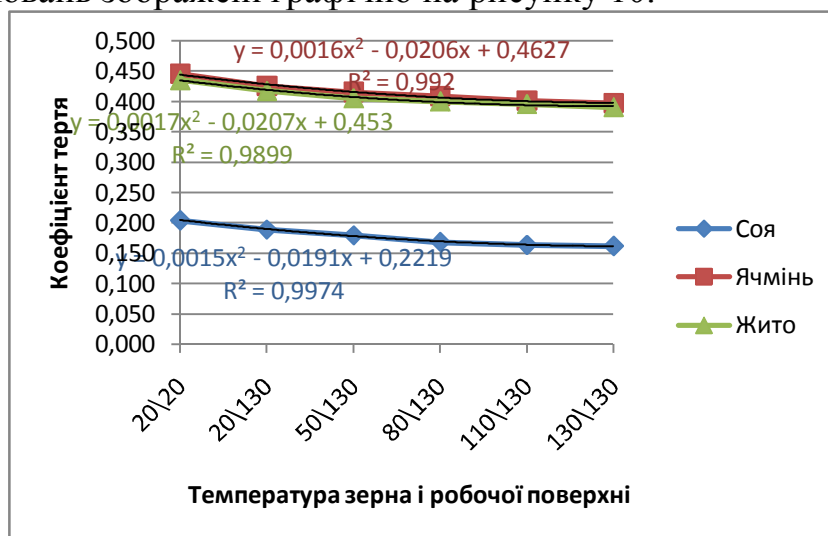


Рис. 10. Залежність коефіцієнта тертя зерна по металу від температури

Коефіцієнт тертя зерна по металу для різних видів зернового матеріалу залежить від температури взаємодіючих об'єктів, і описуються нелінійними рівняннями: для сої  $y=0,0015x^2-0,0191x+0,2219$ ; для ячменю  $y=0,0016x^2-0,0206x+0,4627$ ; для жита  $y=0,0017x^2-0,0207x+0,453$ .

Такий характер зміни коефіцієнтів тертя пояснюється тим, що при нагріванні зменшуються сили молекулярної взаємодії речовин, що тягне за собою зміну коефіцієнта тертя.

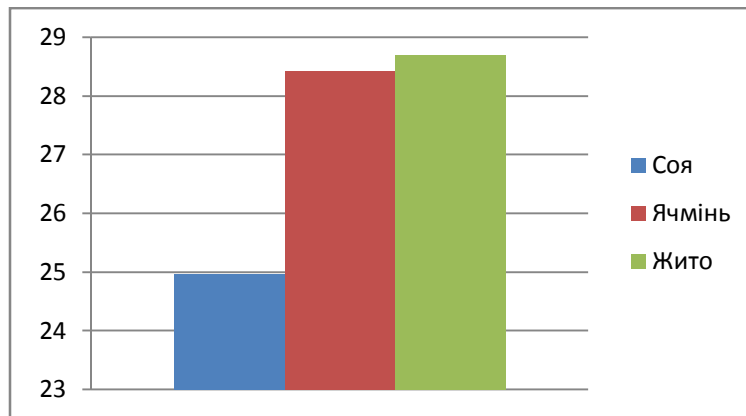


Рис. 11. Кут природного укосу

Значення кута природного укосу для досліджуваних матеріалів становлять: для сої – 24,96; для ячменю – 28,42; для жита – 28,68. Визначення кута природного укосу дозволило розрахувати коефіцієнти внутрішнього тертя для кожного виду зернового матеріалу, які становлять: для сої – 0,414; для ячменю – 0,479; для жита – 0,484 відповідно.

#### *Висновки.*

1. Розглянуто характер впливу теплової обробки на фізико-механічні властивості зернових кормів, таких як соя, ячмінь і жито.

2. Експериментально встановлено середню площу поверхні одиничної частинки для кожного виду матеріалу. Розраховано співвідношення площі теплової обробки і вологи в зерні.

3. Отримано залежності зміни маси, коефіцієнта зовнішнього тертя і вологості від температури і часу обробки, як для наважок, так і для поодиноких частинок зернових матеріалів. Також були визначені значення кута природного укосу для досліджуваних типів зерна, що дозволило розрахувати коефіцієнт внутрішнього тертя.

4. Отримані шляхом лабораторних досліджень залежності фізико-механічних властивостей зернових кормів від температури і часу обробки дозволяють провести розрахунки математичної моделі одношарового переміщення зернового матеріалу по похилій круговій вібраційній поверхні і побудувати дослідний зразок установки для перевірки адекватності цієї моделі.



*Література*

1. *Шацкий В. В.* Моделирование механизированных процессов приготовления кормов: монография / *В. В. Шацкий*. – ИМЖ УААН. – Запорожье: Х- ПРЕСС, 1998. – 140 с.
2. *Данко И.* Физико-химическая и геометрическая характеристика зерна: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [girls4girls.ru/.../2318-fiziko-himicheskaya-i-geometricheskaya-harak](http://girls4girls.ru/.../2318-fiziko-himicheskaya-i-geometricheskaya-harak).
3. Семена масличные. Метод определения влажности: ГОСТ 10856-96 – Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 1996. – 6 с.
4. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Визначення динамічного коефіцієнту тертя ковзання методом вивчення руху по похилій поверхні», – МИМСХ. – Мелитополь, 1993. – 18 с.
5. Зерно. Методы определения качества: ГОСТ 3040-55 – М.: Издательство стандартов, 1973. – 7 с.
6. Комбикорма, сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса: ГОСТ 28254-89 – М.: Стандартиформ – Москва, 2006. – 4 с.
7. *Карлин С.* Основы теории случайных процессов / *С. Карлин* / Пер. с англ., под ред. Коваленко И. Н. – М.: Мир, 1971. – 61 с.

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ЗЕРНОВЫХ КОРМОВ В ПРОЦЕССЕ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ**

В. В. Шацкий, Д. В. Демьяненко, А. П. Чаплинский

**Аннотация** – в статье рассмотрено влияние температурной обработки на физико-механические свойства зерновых кормов. В процессе лабораторных опытов были получены зависимости массы, коэффициента трения и влажности от температуры и времени обработки.

**CHANGES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF GRAIN FEED DURING HEAT TREATMENT**

V. Shatsky, D. Demjanenko, A. Chaplinskiy

*Summary*

**This article considers the impact of heat treatment on physical and mechanical properties of grain feed. During laboratory tests dependences of weight, friction and moisture on the temperature and time of treatment were obtained.**