

УДК 664.5
ББК 36.98
И-88

Косова Наталья Викторовна, преподаватель отделения машиностроения Майкопского государственного гуманитарно-технического колледжа ФГБОУ ВПО «Адыгейский государственный университет», e-mail: natalya.kosova.72@mail.ru;

Меретуков Заур Айдамирович, доктор технических наук, доцент кафедры «Технологии, машин и оборудования пищевых производств» ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», e-mail: zamer@radnet.ru;

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств», ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», e-mail: Koshevoi@kubstu.ru;

Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств факультета машиностроения и автосервиса ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», тел.: 8(861)2752279.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ПЛОДОВ ПРЯНО-АРОМАТИЧЕСКОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ СЖАТИЕМ (рецензирована)

Целью работы является исследование процесса разрушения частиц пряностей с получением характеристики их прочностных свойств.

Ключевые слова: пряно-ароматическое растительное сырье, измельчение, сжатие, прочностные свойства.

Kosova Natalia Victorovna, a lecturer of the Engineering Department of Maikop State Humanitarian- Technical College of FSBEI HPE «Adygh State University», e-mail: natalya.kosova.72@mail.ru;

Meretukov Zaur Aydamirovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology, Machines and Equipment of Food Production of FSBEI HPE «Maikop State Technological University», e-mail: zamer@radnet.ru;

Koshevoy Eugeni Panteleevich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the Department of Machinery and Equipment for Food Production of FSBEI HPE «Kuban State University of Technology», e-mail: Koshevoi@kubstu.ru.

Kosachev Vyacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Machines and Equipment for Food Production of the Faculty of Mechanical Engineering and Auto Service of FSBEI HPE «Kuban State Technological University», tel.: (861) 275-22-79.

INVESTIGATION OF DESTRUCTION OF SPICY-AROMATIC PLANT MATERIAL FRUIT BY COMPRESSION (reviewed)

The aim of the research is to study the process of destruction of the particles of spices to give the performance of their mechanical properties.

Keywords: aromatic plant material, grinding, compression, tensile properties.

Измельчение пряностей является одной из наиболее важных технологических операций при производстве пищевых продуктов с ароматическими и вкусовыми добавками [1]. В ходе измельчения необходимо получить требуемую степень измельчения с соответствующими затратами энергии и не допустить перегрева получаемого измельченного продукта, обусловленного потерей качества. Для проведения исследований использовали методику [2] и установку обеспечивающую соблюдение указанных требований, в которой реализуется процесс измельчения пряно-ароматического

растительного сырья сжатием.

Целью данной работы является получение характеристик прочностных свойств частиц пряностей. За образец для исследований приняли перец черный горький, как наиболее доступный и распространенный материал.

Эксперименты по сжатию проводились на установке, позволяющей с постоянной скоростью нагружать сжатием единичные плоды перца черного горького вплоть до разрушения. Плоды находились в воздушно сухом состоянии. Измеряли исходный размер плодов и получали зависимость между силой и деформацией. Статистическая обработка полученных результатов показала отсутствие в исследуемом диапазоне корреляционных связей между характеристиками поведения деформируемых плодов и их размерами.

На рисунке 1 представлены объединенные результаты поведения деформируемых плодов перца черного горького различных исходных размеров.

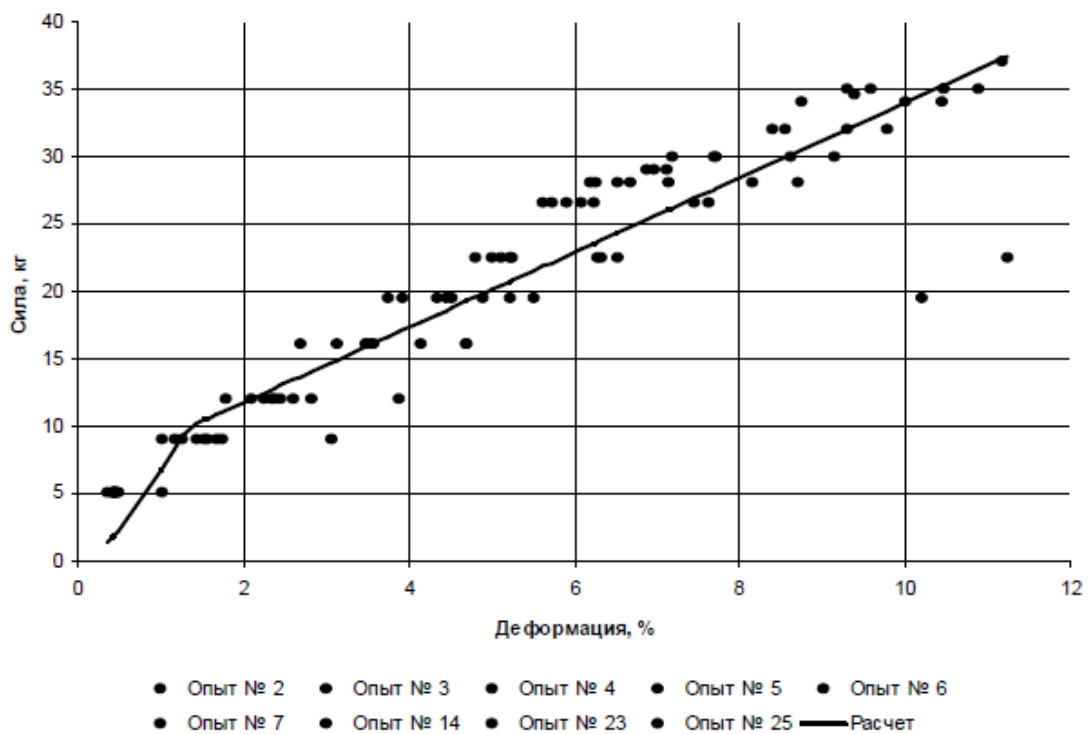


Рис. 1. Результаты поведения деформируемых плодов перца черного

Для полученной зависимости характерно наличие двух участков: первый до степени деформации $\varepsilon = 1,31\%$ и второй для деформации превышающей $\varepsilon = 1,31\%$.

Первый участок характерен для упругой деформации и может быть описан степенной зависимостью, соответствующей теории Герца [3]

$$F = 6.572 \cdot \varepsilon^{3/2} \quad (1)$$

Второй участок характерен для упруго-пластичной деформации и может быть описан линейной зависимостью:

$$F = 2.779 \cdot \varepsilon + 6.21 \quad (2)$$

где F – сила нагружения, кг сила; ε – степень деформации, %.

Отношение между упругой силой контакта и деформацией не линейно как установлено Герцем [3]:

$$F_{el} = \frac{2}{3} E * \sqrt{\frac{d}{2}} s^3 \quad (3)$$

С целью использовать полученную зависимость (1) области упругой деформации для определения числовых значений основных прочностных характеристик плодов перца черного горького представляли зависимость силы от абсолютной деформации (при пересчете принято среднее значение размера плодов перца черного горького $\bar{d} = 4,74$ мм)

$$F = 6,245 \cdot 10^3 \cdot s^{3/2} \quad (4)$$

где F – сила нагружения, Н; s – абсолютная деформация, м.

Из уравнения (3) следует зависимость для определения эффективного модуля упругости

$$E^* = \frac{F}{\frac{2}{3} \sqrt{\frac{d}{2}} s^3} \quad (5)$$

Таким образом, получено значение $E^* = 1,912 \cdot 10^5$ Па.

Значение модуля упругости плодов перца черного горького можно определить из уравнения (с числом Пуассона $\nu_1 = 0.28$; индекс 2 относится к экспериментальной установке $E_2 \rightarrow \infty$)

$$E^* = 2 \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)^{-1} \approx \frac{2}{1 - \nu_1^2} E_1 \quad (6)$$

Значение $E_1 = 6,882 \cdot 10^4$ Па.

Значение жесткость контакта в нормальном направлении определяется по уравнению [4]:

$$k_{N,el} = \frac{dF_{el}}{ds} = E^* \sqrt{\frac{d}{2}} s = \left(\frac{F_{el} d}{4D^2} \right)^{1/3} \quad (7)$$

Значение $k_{N,el} = 2,319 \cdot 10^3$ Па м.

Значение модуля сдвига плодов перца черного горького $G_1 = E_1/(2(1+\nu_1)) = 2,688 \cdot 10^4$ Па и значение эффективного модуля сдвига определяется по уравнению

$$G^* = 4 \left(\frac{1 - \nu_1}{G_1} + \frac{1 - \nu_2}{G_2} \right)^{-1} \approx \frac{4}{1 - \nu_1} G_1 \quad (8)$$

Значение $G^* = 1,494 \cdot 10^5$ Па.

Сила в течение упруго-пластичной деформации может быть описана упруго-пластичной жесткостью уравнением

$$F_{el-pl} = \pi p_F \left(1 - \frac{1}{3} \sqrt[3]{\frac{s_F}{2s}} \right) s \quad (9)$$

Здесь напряжение $p_F = F_F/\pi r_k^2$ может быть характеризовано в начале пластичной деформации s_F с силой контакта F_F . Эти два параметра были определены из кривой зависимости силы от деформации (рисунок 1) и с учетом соотношения

$$r_k^3 = \frac{3 \cdot d \cdot F_F}{4 \cdot E^*} \quad (10)$$

можно определить жесткость упруго-пластичной деформации для точки перехода от упругой к упруго-пластичной деформации

$$k_{N,el-pl} = \pi p_F \left(1 - \frac{1}{3} \right) \quad (11)$$

Экспериментальные и теоретические кривые зависимости силы от деформации в течение упруго-пластичной деформации параллельны друг другу с небольшим отклонением. Это маленькое отклонение объясняется фактом, что область контакта плода перца при сжатии не была совершенно круглой, и ее определяли приближенно. Для корректировки теоретической кривой к экспериментальным данным необходимо ввести поправочный коэффициент k :

$$k_{N,el-pl} = \pi p_F k \left(1 - \frac{1}{3} \sqrt[3]{\frac{s_F}{2s}} \right) \quad (12)$$

Сравнением между экспериментальной и теоретической кривой установлено значение поправочного коэффициента ($k = 0.884$).

Эксперименты показали, что разрушение плодов перца черного происходит в области упруго-пластичной деформации и область пластичной деформации не наступает. Напряжение плодов данного размера, при котором случай поломки наблюдается не постоянно. Прочностные характеристики плодов носят распределенный случайный характер даже с идентичным процессом нагружения, так как возможны отличия по микроструктуре и ориентации, а также возможных дефектов. Существующее распределение неоднородностей играет существенную роль на поведении разрушения. Вероятность разрушения P при сжатии может быть описана статистическим уравнением Вейбулла [5], как функция среднего размера $\bar{d}$ и энергии разрушения W :

$$P(W) = 1 - \exp(-0.54 \cdot \bar{d} \cdot W^{2.18}) \quad (13)$$

Вообще, интеграл зависимости «сила – деформация», то есть, площадь под кривой (рис. 1) до величины силы разрушения определяет энергию разрушения. На рисунке 2 показаны результаты обработки данных по разрушению плодов перца черного. При этом получены значения параметров уравнения (13) $c = 0,54$ и $z = 2,18$.

ВЫВОД

Получены данные по прочностным свойствам плодов перца черного, которые могут быть использованы при проектировании измельчителя. Экспериментальные и теоретические кривые зависимости силы от деформации в течение упруго-пластичной деформации параллельны друг другу с маленьким отклонением. Это маленькое отклонение объясняется фактом, что область контакта плода перца при сжатии не была совершенно круглой, и ее определяли приближенно.

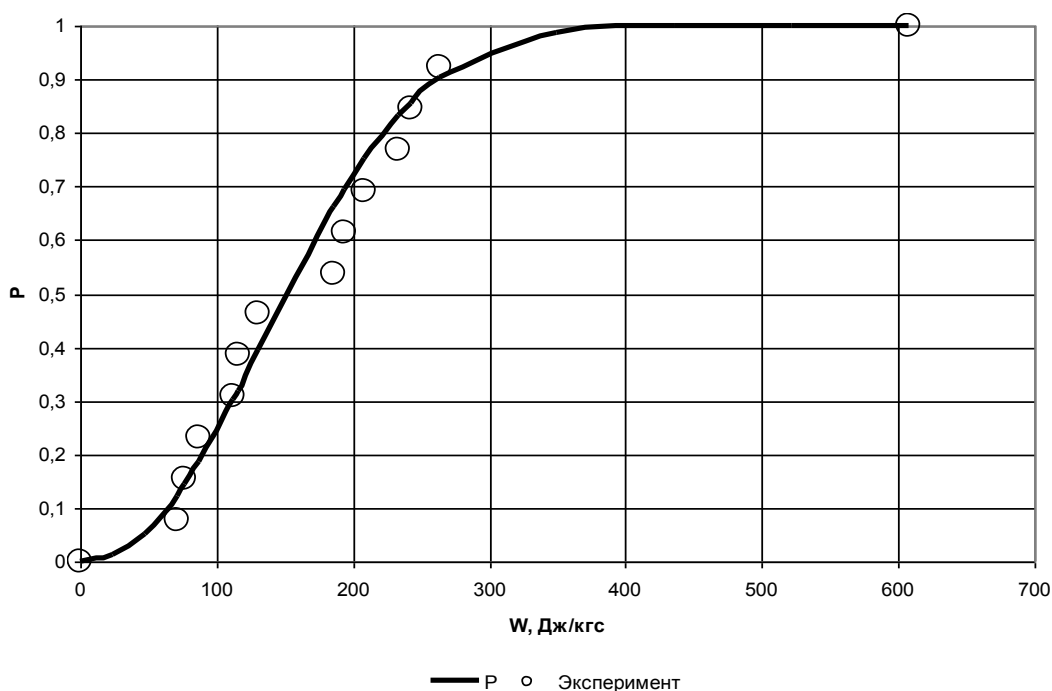


Рис. 2. Результаты обработки данных по разрушению плодов перца черного

Для корректировки теоретической кривой к экспериментальным данным должен быть введен поправочный коэффициент (соотношение 12):

$$k_{N,el-pl} = \pi r p_F k \left(1 - \frac{1}{3} \sqrt[3]{\frac{s_F}{2s}} \right)$$

Сравнением между экспериментальной и теоретической кривой установлено значение поправочного коэффициента ($k = 0.81$).

Эксперименты показали, что разрушение плодов перца черного горького происходит в области упруго-пластичной деформации и область пластичной деформации не наступает.

Литература:

1. Косова Н.В., Меретуков З.А., Кошевой Е.П. Перспективный способ эффективной технологии переработки пряного растительного сырья криогенным измельчением // Новые технологии. 2013 (в печати).
2. Косова Н.В., Меретуков З.А., Кошевой Е.П. Теоретические основы определения прочностных свойств растительного сырья и методика их экспериментального исследования // Новые технологии. 2013 (в печати).
3. Hertz H. *Über die Berührung fester elastischer Körper* // J. reine und angew. Math. 1882. Vol. 92. P. 156-171.
4. Tomas J. *Zur Mechanik trockener kohäsiver Schüttgüter* // Schüttgut. 2002. Vol. 8, №6. P. 522-537.
5. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 395 с.

References:

1. Kosova N.V., Meretukov Z.A., Koshevoy E.P. *A promising method of efficient processing technology of spicy herbal material by cryo grinding. New technologies. 2013 (in press).*
2. Kosova N.V., Meretukov Z.A., Koshevoy E.P. *The theoretical basis for determining the strength properties of the plant material and the method of their pilot study. New technologies. 2013 (in press).*
3. Hertz H. *Über die Berührung fester elastischer Körper* // J. reine und angew. Math. 1882. Vol. 92. P. 156-171.
4. Tomas J. *Zur Mechanik trockener kohäsiver Schüttgüter* // Schüttgut. 2002. Vol. 8, №6. P. 522-537.
5. Khan G., Shapiro S. *Statistical models in engineering problems*. M.: Mir, 1969. 395 p.