

*ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ
ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРЯНОСТЕЙ*

**Е.П. КОШЕВОЙ¹, В.С. КОСАЧЕВ¹, Н.В. КОСОВА²,
З.А. МЕРЕТУКОВ²**

¹ *Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2; электронная почта:
adm@kgtu.kuban.ru*

² *Майкопский государственный технологический университет,
385000, Российская Федерация, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191; электронная почта:
info@mkgtu.ru*

В статье представлены результаты исследований температурных зависимостей процесса измельчения пряностей. Показано, что основным путем снижения потерь эфирного масла при измельчении является снижение начальной температуры измельчаемого материала, что возможно за счет криогенной обработки.

Ключевые слова: пряности, измельчение, температурные зависимости.

При измельчении пряного растительного сырья уменьшается размер частиц и увеличивается их площадь поверхности, что обеспечивает доступность ценных компонентов, таких как эфирное масло с ароматическими веществами, которые содержатся в клеточной структуре материала. Энергоемкий процесс измельчения сопровождается нагревом измельчаемого материала, что в случае вскрытых клеток пряного материала ведет к потере ценных летучих компонентов. Необходимо оценить влияние преобразования энергии при измельчении в температурные эффекты. Обоснована перспективная технология переработки пряного ароматического сырья криогенным измельчением [1].

Цель настоящей работы – представление результатов исследования и обобщение литературных данных [2–9] по температурным зависимостям процесса измельчения перца черного.

Температурный эффект в процессе измельчения вызван преобразованием кинетической энергии и работой трения в зоне измельчения. Часть эффекта связана с преобразованием энергии в процессе размола частиц, которое зависит от их начального размера, формы и прочности.

Приводимые экспериментальные данные относятся к измельчению на молотковой дробилке перца черного, которое проводилось при температуре окружающей среды с различной подачей материала в мельницу.

На рис. 1 представлены данные по изменению температуры при измельчении перца черного в молотковой дробилке при различной подаче материала.

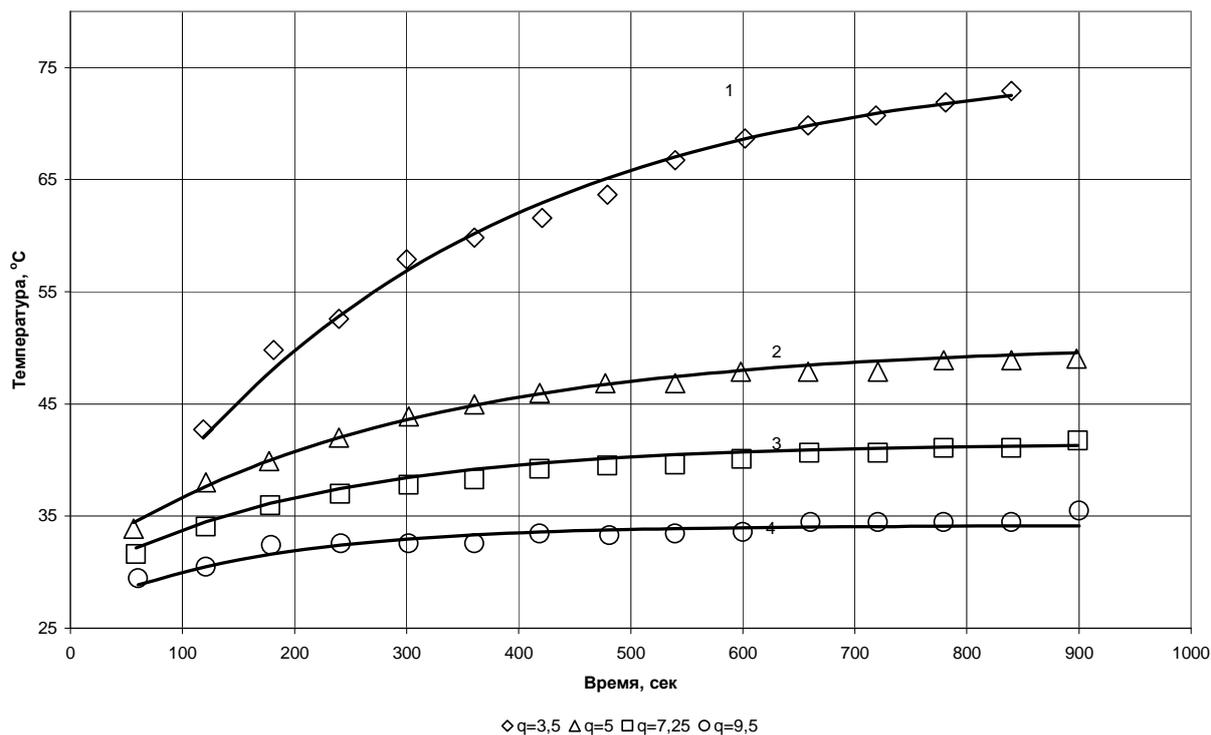


Рис. 1. Кривые нагрева при измельчении перца черного в молотковой дробилке при различной подаче материала (1 – q = 3,5 кг/ч; 2 – q = 5 кг/ч; 3 – q = 7,25 кг/ч; 4 – q = 9,5 кг/ч)

Обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения для измельчения с различной подачей материала

$$t_{3,5}(\tau) = 75,95 - 49,43 \cdot \exp(-0,00317 \cdot \tau); \quad (1)$$

$$t_5(\tau) = 50,39 - 19,45 \cdot \exp(-0,0035 \cdot \tau); \quad (2)$$

$$t_{7,25}(\tau) = 41,49 - 12,20 \cdot \exp(-0,0046 \cdot \tau); \quad (3)$$

$$t_{9,5}(\tau) = 34,17 - 7,65 \cdot \exp(-0,00608 \cdot \tau). \quad (4)$$

Для описания кинетики нагрева измельчаемого материала рассмотрим процесс как нестационарный безградиентный нагрев [10]. Соответственно зависимость измельчаемого материала θ к моменту времени τ составит

$$\theta = t - (t - \theta_0) \cdot \exp\left(-\frac{\alpha F \tau}{G_m \tilde{c}_m}\right), \quad (5)$$

где t – температура среды в зоне измельчения; θ_0 – начальная температура материала; αF – пропускная способность конвективному поверхностному переносу теплоты; G_m – масса материала в зоне измельчения; c_m – приведенная теплоемкость материала и деталей измельчителя.

Результаты идентификации параметров модели безградиентного нагрева по экспериментальным данным представлены в таблице.

Механизм изменения температуры измельчаемого материала включает преобразование кинетической энергии и выделение тепла при трении частиц в зоне измельчения. Так как измельчение проводилось на молотковой мельнице с одним и тем же объемом измельчения, в зависимости от подачи материала изменялось время измельчения. При этом с увеличением подачи время измельчения уменьшалось, и соответственно уменьшалась температура.

Таблица

Наименование параметров	Подача материала q , кг/ч			
	3,5	5	7,25	9,5
t , °C	75,95	50,41	41,49	34,37
θ_0 , °C	26,52	30,94	29,30	26,52
αF , Вт/°C	21,62	22,74	24,70	26,83
G_m , кг	1,455	1,420	1,420	1,420
c_m , Дж/(кг · °C)	4702	4589	4422	4261

На рис. 2 представлены зависимости изменения температуры в зоне измельчения и размера измельченных частиц от времени измельчения. Видно,

что температура в зоне измельчения растет линейно со временем пребывания, а размер частиц уменьшается.

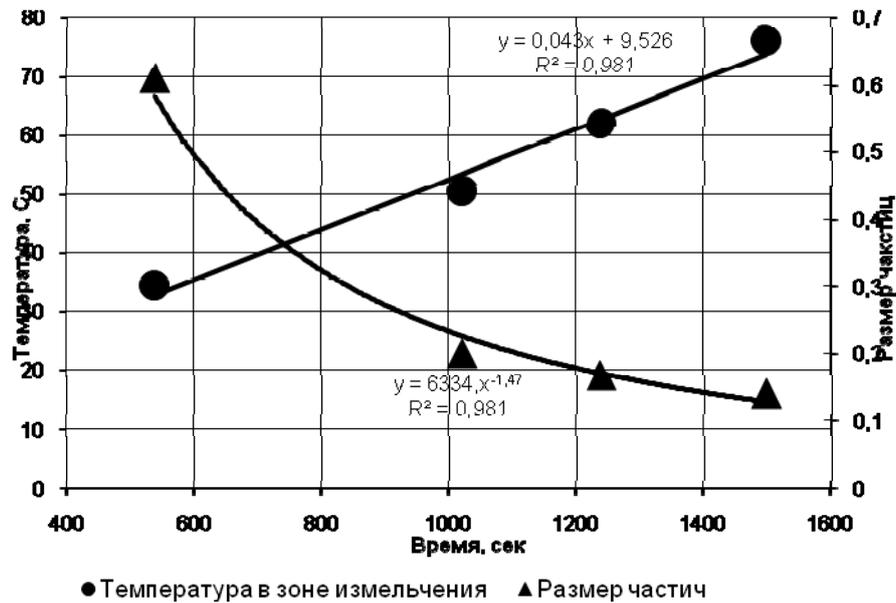
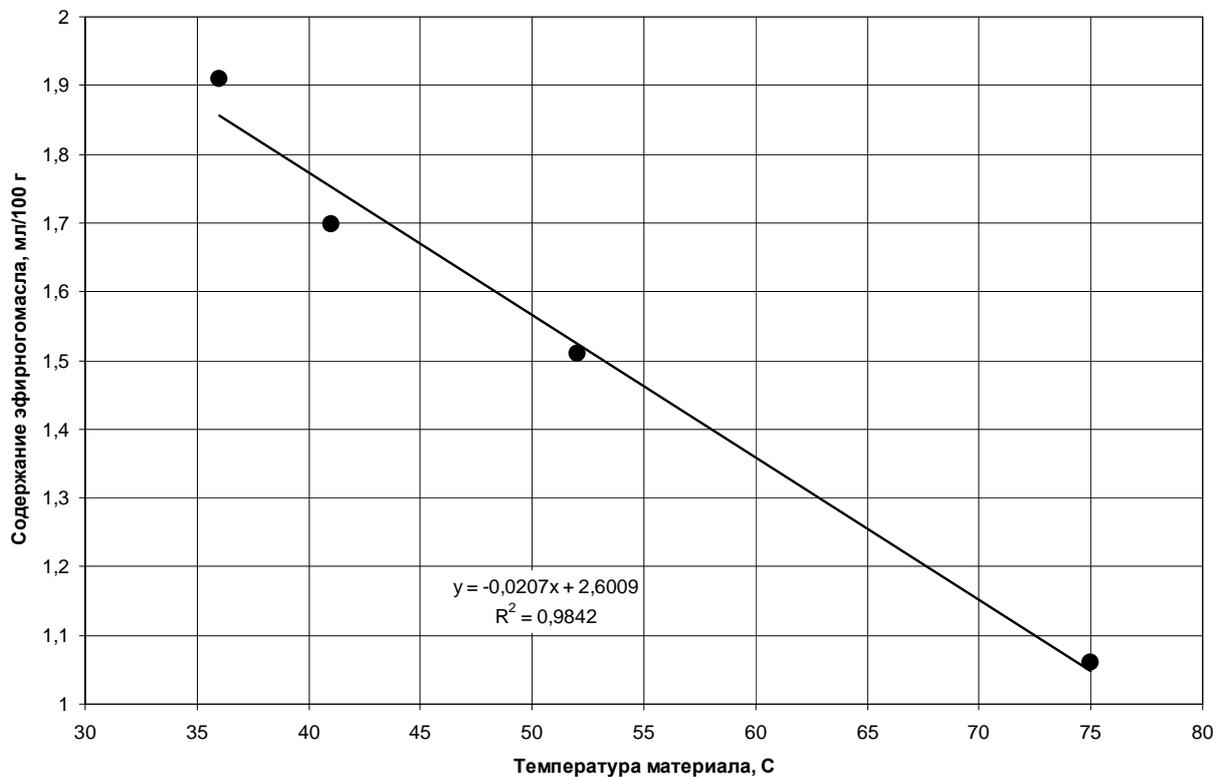


Рис. 2

На рис. 3 представлена зависимость содержания эфирных масел в измельченном перце.



Р

Рис. 3

Снижение содержания летучих эфирных масел в измельченном материале естественно объясняется ростом температуры в зоне измельчения.

ВЫВОД

Анализ зависимости (5) нестационарного безградиентного нагрева показывает, что основным путем снижения потерь эфирного масла является снижение начальной температуры измельчаемого материала, что возможно за счет криогенной обработки [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Косова Н.В., Меретуков З.А., Кошевой Е.П.** Перспективный способ эффективной технологии переработки пряного растительного сырья криогенным измельчением // Новые технологии. 2013. Вып. 3. С. 23–25.
2. **Balasubramanian S., Kumar R., Singh K.K., Zachariah T.J.** Physico-mechanical properties of black pepper (*Piper nigrum* L.) // Journal of Spices and Aromatic Crops. 2013. Vol. 22 (2). P. 131–137.
3. **Kalwaj J., Mroziński A.** The problems of energy consumption in hammer mill for corn grain. CHISA 2002. 15th International Congress of Chemical and Process Engineering, 25–29 August 2002. Prague, Czech Republic.
4. **Kalwaj J., Mroziński A.** Problems of the heat in the beater shredder for cereal grains. CHISA 2004. 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, 22–26 August 2004. Prague, Czech Republic.
5. **Mathew S.M., Sreenarayanan V.V.** Study on grinding of black pepper and effect of low feed temperature on product quality // Journal of Spices and Aromatic Crops. 2007. Vol. 16 (2). P. 82–87.
6. **Meghwal M., Goswami T.K.** Thermal properties of black pepper and its volatile oil // International Journal of Advanced Biotechnology and Research. 2011. Vol. 2, Iss. 3. P. 334–344.
7. **Murthy C.T., Suvendu Bhattacharya S.** Cryogenic grinding of black pepper // Journal of Food Engineering. 2008. 85. P. 18–28.

8. **Saxena R., Soni A., Saxna S.N., Rathore S.S., Barnwal P.** Cryogenic grinding: a physical technique to retain volatile content in natural products. International Conference on Ceramics, Bikaner, India // International Journal of Modern Physics: Conference Series. 2013. Vol. 22. P. 589–592.

9. **Singh K.K., Goswami T.K.** Design of a cryogenic grinding system for spices // Journal of Food Engineering. 1999. 39. P. 359–368.

10. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Под ред. В.Г. Айнштейна. М.: Логос; Высшая школа, 2003. Кн. 1. 912 с.

REFERENCES

1. Kosova N.V., Meretukov Z.A., Koshevoy E.P., *Novye tekhnologii*, 2013, no. 3, pp. 23–25.

2. Balasubramanian S., Kumar R., Singh K.K., Zachariah T.J., *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 2013, Vol. 22 (2), pp. 131–137.

3. Kalwaj J., Mroziński A., The problems of energy consumption in hammer mill for corn grain. CHISA 2002. 15th International Congress of Chemical and Process Engineering, 25–29 August 2002. Prague, Czech Republic.

4. Kalwaj J., Mroziński A. Problems of the heat in the beater shredder for cereal grains. CHISA 2004. 16th International Congress of Chemical and Process Engineering, 22–26 August 2004. Prague, Czech Republic.

5. Mathew S.M., Sreenarayanan V.V., *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 2007, Vol. 16 (2), pp. 82–87.

6. Meghwal M., Goswami T.K., *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2011, Vol. 2, Iss. 3, pp. 334–344.

7. Murthy C.T., Suvendu Bhattacharya S., *Journal of Food Engineering*, 2008, 85, pp. 18–28.

8. Saxena R., Soni A., Saxna S.N., Rathore S.S., Barnwal P., *International Journal of Modern Physics: Conference Series*, 2013, Vol. 22, pp. 589–592.

9. Singh K.K., Goswami T.K., *Journal of Food Engineering*, 1999, 39, pp. 359–368.

10. Айнштейн В.Г., *Obshchiy kurs protsessov i apparatov khimicheskoy tekhnologii* (General course of processes and devices of chemical technology), Moscow, 2003, 912 p.

Поступила 11.04.14 г.

TEMPERATURE DEPENDENCES OF PROCESS OF CRUSHING OF SPICES

E.P. KOSHEVOY¹, V.S. KOSACHEV¹, N.V. KOSOVA², Z.A. MERETUKOV²

¹ *Kuban State Technological University,*

2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072; e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

² *Maikop State Technological University,*

191, Pervomaiskaya st., Maikop, Russian Federation, 352700; e-mail: info@mkgtu.ru

In given article results of researches of temperature dependences of process of crushing of spices are presented. It is shown, that the core by decrease in losses of essence at crushing is decrease in reference temperature of a crushed material that is possible at the expense of cryogenic processing.

Key words: spices, crushing, temperature dependences.