

## Влияние вакуумно-гидротермической обработки на физические характеристики зерна кукурузы

Павлова Ю.А., Фролов Д.И.

**Аннотация.** В статье определялось влияние применяемой гидротермической обработки зерен кукурузы и последующего вакуумного давления на изменение влагосодержания семян (сухой основы), разрушающей силы, энергии разрушения одного ядра и изменение площади горизонтальной проекции одного ядра. Ядра кукурузы, использованные в качестве экспериментального материала, подвергались гидротермической обработке (кипячение в течение 20 и 30 мин при температуре 100°C), а затем обработке в вакууме (20 кПа) в течение 1, 3 и 5 мин. Во всем диапазоне длительностей вакуумной обработки наблюдались более высокие значения разрушающей силы и энергии для ядра, подвергнутого гидротермической обработке в течение 20 мин, по сравнению с ядрами, обработанными в течение 30 мин.

**Ключевые слова:** зерно кукурузы, гидротермическая обработка, вакуумное давление, разрушающая сила и энергия, влагосодержание, площадь горизонтальной проекции.

**Для цитирования:** Павлова Ю.А., Фролов Д.И. Влияние вакуумно-гидротермической обработки на физические характеристики зерна кукурузы // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 3. С. 16–20.

## Influence of vacuum-hydrothermal treatment on physical characteristics of maize grain

Pavlova Yu.A., Frolov D.I.

**Abstract.** The paper determined the effect of applied hydrothermal treatment of corn kernels and subsequent vacuum pressure on the change in seed moisture content (dry basis), breaking force, energy of destruction of one kernel and change in the horizontal projection area of one kernel. The corn kernels used as experimental material were hydrothermally treated (boiling for 20 and 30 min at 100°C) and then treated in vacuum (20 kPa) for 1, 3, and 5 min. Over the entire range of vacuum treatment durations, higher values of breaking force and energy were observed for cores hydrothermally treated for 20 min compared to cores treated for 30 min.

**Keywords:** corn grain, hydrothermal treatment, vacuum pressure, destructive force and energy, moisture content, horizontal projection area.

**For citation:** Pavlova Yu.A., Frolov D.I. Influence of vacuum-hydrothermal treatment on physical characteristics of maize grain. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 3. pp. 16–20. (In Russ.).

### Введение

Вакуумная обработка широко применяется в различных отраслях пищевой промышленности, например, при производстве кормовых смесей высокой жирности, при упаковке пищевых продуктов для длительного хранения, в сушке и других технологиях пищевой промышленности [1, 2, 3].

Быстрые изменения давления приводят к временной деформации пор в структуре большинства пищевых продуктов. На такую деформацию влияет скорость падения и увеличения давления. Особое

значение имеет время смены давления с вакуумного на атмосферное, так как может произойти закрытие капиллярных сосудов в растительном материале и торможение гидродинамического механизма [4, 5, 6].

Исследования проведены с целью определить влияние давления вакуума и его продолжительности, приложенного после предварительной гидротермической обработки (кипячения), на прочностные характеристики ядра кукурузы, термически обработанного в различные промежутки времени.

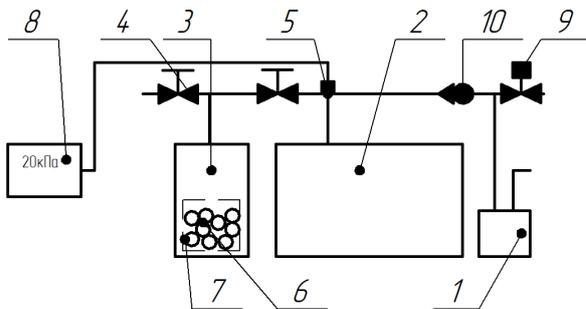


Рис. 1. Схема экспериментального стенда: 1 - вакуумный насос; 2 - основная емкость; 3 - основная емкость, 4 - шаровый кран; 5 - датчик давления; 6 - образец, обработанный вакуумным давлением; 7 - сетка, предотвращающая проглатывание образца; 8 - вакуумный манометр; 9 - электроклапан; 10 - обратный клапан; 11 - вентиль.

### Объекты и методы исследований

Определено влияние применяемой гидротермической обработки и последующего вакуумного давления на изменение влагоемкости семян кукурузы (сухая основа), разрушающей силы и энергии, а также на изменение площади горизонтальной проекции для одного ядра.

Ядра кукурузы, использованные в качестве экспериментального материала, подвергались гидротермической обработке (кипячение в течение 20 и 30 мин при 100°C) и последующему воздействию вакуумного давления (20 кПа) в течение 1, 3 и 5 мин на экспериментальном стенде, представленном на рис. 1. До и после обработки образцов семян определяли содержание влаги, изменение разрушающей силы и энергии, а также площадь горизонтальной проекции одного семени.

Образцы для вакуумной обработки помещались в перфорированный пластиковый контейнер (7), установленный в основной бак (3). После поме-

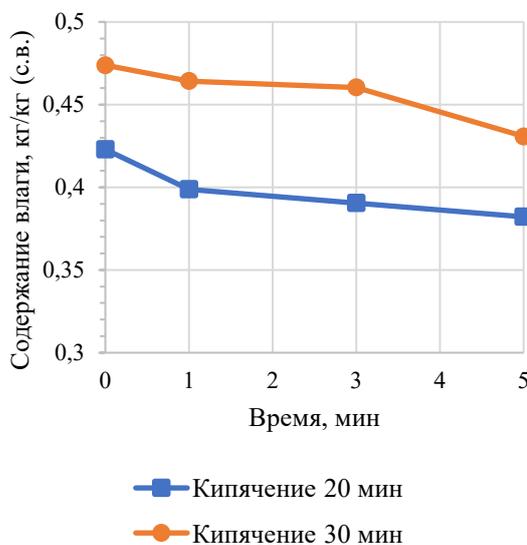


Рис. 3. Изменение влажности (в сухом весе) сырья, подвергнутого 20 и 30 мин гидротермической обработке и дополнительному вакууму давлением 20 кПа.

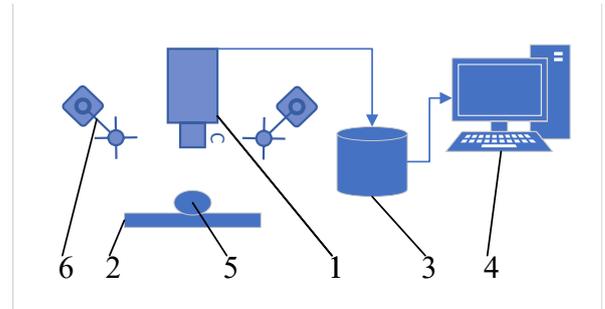


Рис. 2. Схема системы для компьютерного анализа изображений: 1 - цифровая камера; 2 - предметный столик; 3 - преобразователь; 4 - персональный компьютер; 5 - образец; 6 - источник света.

щения образца и закрытия основного резервуара закрывались шаровые краны (4, 11). Затем включался вакуумный насос (1) для создания вакуумного давления в основном резервуаре (2). Датчик давления (5), установленный на пульте, позволял непрерывно контролировать вакуумное давление в системе. Далее, после достижения требуемого уровня вакуума и остановки вакуумного насоса (1), для выравнивания давления открывался шаровый кран между основным (2) и базовым (3) резервуарами.

Содержание влаги определялось методом высушивания при температуре 105 °C в соответствии с ГОСТ 27548-97.

Прочностные параметры зерен измеряли методом испытания на сжатие, со скоростью 50 мм/мин. Определены изменения разрушительной силы и энергии под влиянием вакуумной обработки.

Площадь горизонтальной проекции обработанного ядра измеряли на стенде для компьютерного анализа изображений (рис. 2).

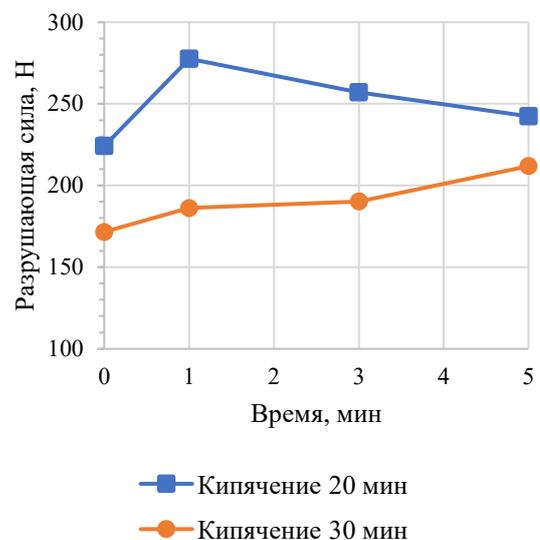


Рис. 4. Изменение разрушающей силы образцов семян кукурузы, подвергнутых гидротермической обработке в течение 20 и 30 мин и давлению вакуума 20 кПа.

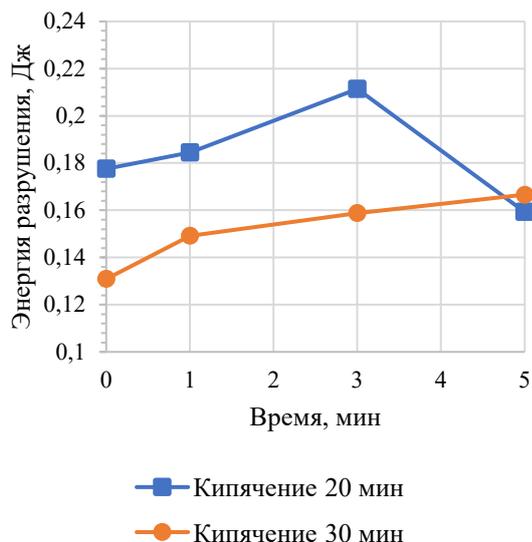


Рис. 5. Изменение энергии разрушения семян кукурузы после 20 и 30 мин гидротермической обработки при вакуумном давлении 20 кПа.

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 3 представлены результаты исследования ядер, обработанных гидротермически в течение 20 и 30 мин, а затем подвергнутых вакуумной обработке при давлении 20 кПа.

Применение гидротермической обработки в течение 20 мин привело к почти четырехкратному увеличению содержания влаги в образцах, а в образцах, обработанных более 30 мин, к более чем четырехкратному увеличению этой величины.

В образцах кукурузы, проваренных в течение 20 мин и подвергнутых давлению 20 кПа, содержание влаги снизилось на 0,04 кг/кг (с.в.) по отношению к материалу, не обработанному вакуумным давлением, достигнув уровня 0,384 кг/кг (с.в.) (через 5 минут вакуумной обработки давлением).

В случае образцов, прокипяченных в течение 30 мин после аналогичной вакуумной обработки, эта величина снизилась, как и при 20-минутной гидротермической обработке, на 0,04 кг/кг (с.в.), достигнув уровня 0,43 кг/кг (с.в.) (после 5-минутной вакуумной обработки под давлением).

На рис. 4 показано изменение разрушающей силы для зерен кукурузы, подвергнутых гидротермической обработке в течение 20 и 30 мин и вакуумному давлению 20 кПа.

Применение гидротермической обработки в течение 20 мин снизило значение разрушающей силы более чем на 65%. В результате продления гидротермической обработки с 20 до 30 мин разрушающая сила снизилась примерно на 75%.

В образцах семян, варившихся более 20 мин, после 1-минутной обработки вакуумным давлением наблюдалось увеличение разрушающей силы примерно на 55 Н, максимальное значение которой достигало 280 Н. Дальнейшее продление обработки вакуумным давлением постепенно снижало разру-

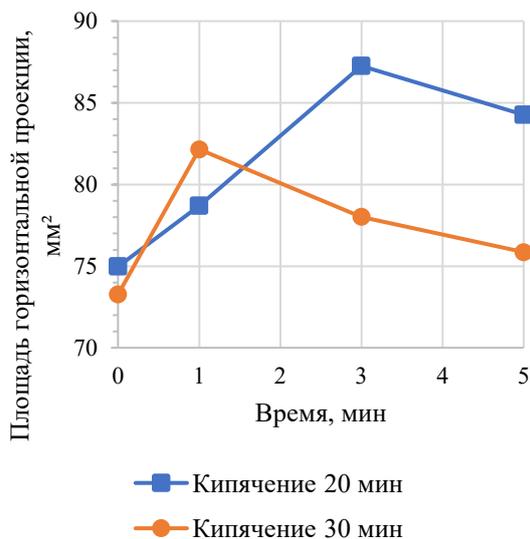


Рис. 6. Изменение площади горизонтальной проекции семян кукурузы в образцах, прошедших гидротермическую обработку в течение 20 и 30 мин и подвергнутых вакуумному давлению 20 кПа.

шающую силу до 244 Н (после 5-минутной обработки).

В случае 30-минутной гидротермической обработки семян кукурузы применение вакуумного давления постепенно увеличивало разрушающую силу с 170 Н (для вареного материала без вакуумной обработки) до 212 Н (5-минутная вакуумная обработка).

Изменение разрушающей энергии для семян кукурузы, подвергнутых гидротермической обработке в течение 20 и 30 мин и обработке вакуумным давлением 20 кПа, представлено на рисунке 5.

Примененная 20-минутная гидротермическая обработка увеличила энергию, необходимую для разрушения отдельных семян, с 0,138 Дж до 0,178 Дж. При 30-минутной гидротермической обработке изменений энергетической ценности не наблюдалось.

Применяемая 20-минутная гидротермическая обработка увеличивала энергию, необходимую для разрушения единичных семян, с 0,138 Дж; в случае 30-минутной гидротермической обработки изменения величины энергии не наблюдалось.

В случае семян кукурузы, отваренных в течение 20 мин, увеличение продолжительности вакуумной обработки до 3 мин повышало энергию разрушения до максимального значения 0,212 Дж. Дальнейшее увеличение продолжительности вакуумной обработки снижало это значение до уровня 0,162 Дж.

При кипячении семян в течение 30 мин по мере увеличения продолжительности вакуумной обработки наблюдался рост энергии, необходимой для разрушения семян, с 0,130 Дж (для материала, не подвергавшегося вакуумному давлению) до 0,165 Дж (для материала, выдержанного под вакуумным давлением в течение 5 мин).

Таблица 1 - Уравнение регрессии и коэффициент детерминации R<sup>2</sup>, характеризующие изменчивость содержания влаги в семенах кукурузы, подвергнутых варке и вакуумной обработке в течение 1, 3 и 5 мин (Т - время обработки).

Обработка	Уравнение регрессии	R <sup>2</sup>
Кипячение 20 мин, давление 20 кПа	$u = -0,007t + 0,42$	0,84
Кипячение 30 мин, давление 20 кПа	$u = -0,008t + 0,47$	0,86

Таблица 2 - Уравнения регрессии и коэффициенты детерминации R<sup>2</sup>, характеризующие изменчивость разрушительной силы семян кукурузы, проваренных и обработанных вакуумом, в течение (t - времени обработки).

Обработка	Уравнение регрессии	R <sup>2</sup>
Кипячение 20 мин, давление 20 кПа	$F = -15,63t^2 + 28,79t + 236,49$	0,74
Кипячение 30 мин, давление 20 кПа	$F = 7,51t + 171,95$	0,94

Таблица 3 - Уравнения регрессии и коэффициенты детерминации R<sup>2</sup>, характеризующие изменчивость разрушительной энергии семян кукурузы, проваренных и обработанных вакуумом в течение 1, 3 и 5 мин (t - время обработки).

Обработка	Уравнение регрессии	R <sup>2</sup>
Кипячение 20 мин, давление 20 кПа	$E = -0,006t^2 + 0,029t + 0,17$	0,83
Кипячение 30 мин, давление 20 кПа	$E = 0,002t^2 + 0,014t + 0,132$	0,97

Таблица 4 - Уравнения регрессии и коэффициенты детерминации R<sup>2</sup>, характеризующие изменчивость площади горизонтальной проекции для семян кукурузы, проваренных и обработанных вакуумом в течение 1, 3 и 5 мин (t - время обработки).

Обработка	Уравнение регрессии	R <sup>2</sup>
Кипячение 20 мин, давление 20 кПа	$P = -0,938t^2 + 6,79t + 74,41$	0,96
Кипячение 30 мин, давление 20 кПа	$P = -0,872t^2 + 4,37t + 75,05$	0,69

На рисунке 6 показано изменение площади горизонтальной проекции семян кукурузы (в результате набухания), подвергнутых гидротермической обработке в течение 20 и 30 мин и предварительной вакуумной обработке при давлении 20 кПа.

## Литература

- [1] Кузьменкова Н. М., Крикунова Л. Н. Влияние режима гидротермической обработки на реологические характеристики зерна кукурузы // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – Т. 329. – №. 5-6. – С. 78-81.

Применяемая гидротермическая обработка уменьшила площадь горизонтальной проекции отдельных семян кукурузы при продолжительности 20 мин в среднем на 1,3 мм<sup>2</sup>, а при продолжительности 30 мин - на 3,4 мм<sup>2</sup>.

Для семян кукурузы, варившихся в течение 20 мин, увеличение продолжительности вакуумного давления до 3 мин привело к увеличению площади горизонтальной проекции отдельных семян до максимального значения 87,35 мм<sup>2</sup>, дальнейшее продление вакуумной обработки снизило это значение до уровня 75,13 мм<sup>2</sup>.

Семена кукурузы, проваренные в течение 30 мин, показали максимальное значение площади горизонтального проецирования единичных семян после 1-минутной обработки вакуумным давлением (достигая более чем двукратного увеличения по отношению к материалу, не подвергнутому вакуумному давлению). Дальнейшее увеличение продолжительности вакуумной обработки постепенно снижало эту величину до уровня 75,6 мм<sup>2</sup> (для материала, находившегося под давлением более 5 мин).

На основании результатов исследования были получены уравнения регрессии и коэффициенты детерминации, представленные в таблицах 1 - 4.

Высокое значение коэффициента детерминации для всех полученных уравнений свидетельствует об очень хорошем соответствии уравнений полученным результатам.

## Выводы

Продление обработки вакуумным давлением (20 кПа) в диапазоне 1 - 5 мин привело к снижению влагосодержания семян кукурузы для обеих применяемых длительностей предшествующей гидротермической обработки. Семена кукурузы, варившиеся более 20 мин в исследуемом диапазоне, показали максимальное значение разрушающей силы после 1-минутной обработки вакуумным давлением. Максимальная разрушительная энергия была обнаружена для образцов семян, подвергнутых гидротермической обработке в течение более 20 мин и вакуумному давлению в течение 3 мин. Во всем диапазоне длительностей вакуумного давления (20 кПа) более высокие значения разрушающей силы и энергии наблюдались для семян кукурузы, подвергнутых гидротермической обработке в течение 20 минут, по сравнению с образцами, подвергнутыми обработке в течение 30 мин.

## References

- [1] Kuzmenkova N. M., Krikunova L. N. Influence of the hydrothermal treatment regime on the rheological characteristics of corn grain // News of higher educational institutions. Food technology. – 2012. – Т. 329. – No. 5-6. – pp. 78-81.

- [2] Крикунова Л. Н., Кузьменкова Н. М., Гернет М. В. Исследование процесса предобработки зерна кукурузы на основе метода гидротермической обработки // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – №. 4 (23). – С. 43-47.
- [3] Анисимова Л. В., Выборнов А. А. Технологические свойства зерна ячменя при переработке в крупу и муку // Ползуновский вестник. – 2013. – №. 4-4. – С. 151-155.
- [4] Karanam M. et al. Effect of hydrothermal treatment on physical and semolina milling properties of barley // Journal of Food Engineering. – 2020. – Т. 287. – С. 110142.
- [5] Hormdok R., Noomhorm A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality // LWT-Food science and Technology. – 2007. – Т. 40. – №. 10. – С. 1723-1731.
- [6] Lan H. et al. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat starches // Food Chemistry. – 2008. – Т. 111. – №. 3. – С. 663-675.
- [2] Krikunova L.N., Kuzmenkova N.M., Gernet M.V. Study of the process of preprocessing corn grain based on the method of hydrothermal treatment // Technology and technology of food production. – 2011. – No. 4 (23). – pp. 43-47.
- [3] Anisimova L.V., Vybornov A.A. Technological properties of barley grain during processing into cereals and flour // Polzunovsky Bulletin. – 2013. – No. 4-4. – pp. 151-155.
- [4] Karanam M. et al. Effect of hydrothermal treatment on physical and semolina milling properties of barley // Journal of Food Engineering. – 2020. – T. 287. – P. 110142.
- [5] Hormdok R., Noomhorm A. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality // LWT-Food science and Technology. – 2007. – T. 40. – No. 10. – pp. 1723-1731.
- [6] Lan H. et al. Impact of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of normal, waxy and high amylose bread wheat stars // Food Chemistry. – 2008. – T. 111. – No. 3. – pp. 663-675.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Павлова Юлия Александровна</b> студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p><b>Pavlova Yulia Alexandrovna</b> student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>
<p><b>Фролов Дмитрий Иванович</b> кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 <b>Тел.:</b> +7(937) 408-35-28 <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>	<p><b>Frolov Dmitriy Ivanovich</b> PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University <b>Phone:</b> +7(937) 408-35-28 <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p>