

# ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

## FOOD TECHNOLOGY

УДК 664.8.036.5:541.64

### Влияние конвективной и микроволновой сушки на текстурные свойства ломтиков лука

Баженова Е.Д., Фролов Д.И.

**Аннотация.** Исследовано влияние конвективной и микроволновой сушки на текстурные характеристики ломтиков лука различной толщины (3 и 7 мм) с предварительной обработкой и без неё. В качестве предварительной обработки применялось погружение в 8%-ный раствор NaCl. Сушка проводилась при температурах 50, 60 и 70 °С (конвективная) и при мощностях 68, 204 и 340 Вт (микроволновая). Определены показатели текстуры методом профилометрического анализа: твёрдость, жевательность, упругость и клейкость. Установлено, что повышение температуры или мощности микроволнового излучения приводит к увеличению твёрдости и жевательности образцов, причём микроволновая сушка обеспечивает более высокие значения этих параметров по сравнению с конвективной сушкой. Предобработка в рассоле усиливает жёсткость и жевательность при конвективной сушке, но снижает эти показатели при микроволновой сушке. Толщина ломтиков существенно влияет на упругость, увеличивая её при большей толщине. Разработаны эмпирические модели для описания зависимости текстурных свойств от параметров процесса с высокими коэффициентами детерминации. Полученные результаты могут быть использованы при оптимизации режимов сушки овощей с целью сохранения качества и потребительских свойств.

**Ключевые слова:** лук репчатый, конвективная сушка, микроволновая сушка, текстурные свойства, рассол, моделирование.

**Для цитирования:** Баженова Е.Д., Фролов Д.И. Влияние конвективной и микроволновой сушки на текстурные свойства ломтиков лука // Инновационная техника и технология. 2025. Т. 12. № 4. С. 7–11.

### The effect of convective and microwave drying on the textural properties of onion slices

Bazhenova E.D., Frolov D.I.

**Abstract.** The effect of convective and microwave drying on the textural characteristics of onion slices of varying thickness (3 and 7 mm) with and without pretreatment was studied. Immersion in an 8% NaCl solution was used as pretreatment. Drying was carried out at temperatures of 50, 60, and 70 °C (convective) and at powers of 68, 204, and 340 W (microwave). Texture parameters were determined using profilometric analysis: hardness, chewiness, springiness, and adhesiveness. It was found that an increase in temperature or microwave power leads to an increase in the hardness and chewiness of the samples, with microwave drying providing higher values for these parameters compared to convective drying. Pretreatment in brine increases hardness and chewiness during convective drying, but decreases these parameters during microwave drying. Slice thickness significantly affects springiness, increasing it at greater thicknesses. Empirical models with high coefficients of determination have been developed to describe the dependence of textural properties on process parameters. The results obtained can be used to optimize vegetable drying processes to preserve quality and consumer properties.

**Keywords:** onions, convective drying, microwave drying, textural properties, brine, modeling.

**For citation:** Bazhenova E.D., Frolov D.I. The effect of convective and microwave drying on the textural properties of onion slices. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2025. Vol. 12. No. 4. pp. 7–11. (In Russ.).

## Введение

Лук репчатый (*Allium сера* L.) является одной из наиболее распространённых овощных культур в мире и выращивается более чем в 175 странах [1]. Годовой мировой объём производства достигает 640 млн тонн. Лук широко используется как в свежем, так и в переработанном виде (сушёных хлопьев, порошков и гранул). Он богат фитохимическими соединениями, в том числе флавоноидами и серосодержащими компонентами, обладающими антиоксидантными и оздоравливающими свойствами [2, 3].

Качество сушёных овощей определяется не только их химическим составом и цветом, но и текстурными характеристиками, которые во многом определяют потребительское восприятие продукта. Текстура влияет на такие параметры, как жевательность, упругость, клейкость, а также на процессы гидратации, хранение и транспортабельность продукта. В этой связи изучение изменений текстурных свойств при сушке имеет важное значение для разработки технологий получения сушёных овощей с высокими потребительскими качествами [4, 5].

Традиционная конвективная сушка обеспечивает получение продукции хорошего качества, однако характеризуется значительными энергозатратами и продолжительным временем обработки [6]. В то же время микроволновая сушка обеспечивает более быстрое удаление влаги, но может вызывать чрезмерное уплотнение структуры и ухудшение текстуры [7]. Дополнительные факторы, такие как предварительная обработка в растворах соли, могут существенно влиять на структурные и механические свойства овощей в процессе сушки. Тем не менее, сравнительных исследований, оценивающих влияние конвективной и микроволновой сушки, толщины ломтиков и предобработки на текстурные характеристики лука, до настоящего времени проведено недостаточно [8, 9, 10].

Целью настоящего исследования являлось определение влияния параметров конвективной и микроволновой сушки, толщины ломтиков и предварительной обработки в рассоле на текстурные характеристики сушёного лука, а также разработка эмпирических моделей для описания этих зависимостей.

## Объекты и методы исследований

Для экспериментов использовался лук репчатый (*Allium сера* L.), купленный на местном рынке. Луковицы очищали от наружных чешуек и вручную нарезали ломтиками толщиной 3 и 7 мм. Средний диаметр срезов составлял около 68 мм. Толщина каждого образца контролировалась с помощью штангенциркуля.

Для изучения влияния осмотической предобработки часть образцов подвергалась выдерживанию в 8%-ном водном растворе NaCl при температуре

$25 \pm 1$  °C в течение 40 мин. Соотношение твёрдой и жидкой фаз составляло в среднем 1:5,05 для ломтиков толщиной 3 мм и 1:2,65 – для 7 мм. После обработки образцы слегка обсушивались фильтровальной бумагой.

Сушка осуществлялась двумя методами:

1. Конвективная сушка (КС) проводилась в лабораторной сушильной камере с естественной конвекцией при температурах 50, 60 и 70 °C. Ломтики размещали в один слой в стеклянных чашках Петри.

2. Микроволновая сушка (МС) проводилась в бытовой микроволновой печи объёмом 17 л при реальной эффективной мощности 68, 204 и 340 Вт. Образцы помещали в центр вращающейся платформы для равномерного нагрева.

Процесс сушки продолжался до достижения конечного содержания влаги: для конвективной сушки – 0,13 кг воды/кг сухого вещества; для микроволновой сушки – 0,10 кг воды/кг сухого вещества.

Каждый эксперимент проводился в трёх повторностях.

Текстурные характеристики сушёных образцов определяли методом текстурного профилометрического анализа с использованием анализатора текстуры с нагрузочной ячейкой 4500 г. Измерения выполнялись при комнатной температуре ( $25 \pm 2$  °C) в десятикратной повторности.

Параметры испытаний: нагрузка срабатывания – 0,067 Н; скорость до испытания – 2 мм/с; скорость прижатия – 0,5 мм/с; диаметр зонда – 50,8 мм, высота – 20 мм.

В ходе двойного цикла сжатия определяли следующие показатели текстуры: твёрдость (Н), жевательность (N), упругость (мм), клейкость (N).

Для оценки влияния факторов – температуры/мощности микроволн (Т/Р), толщины ломтика (L) и наличия рассольной обработки (В) – использовался трёхфакторный план центрального композиционного ротатбельного эксперимента.

Обработка данных и построение эмпирических моделей проводились с использованием программы Statistica 10.

## Результаты и их обсуждение

Твёрдость является одним из основных показателей текстуры сушёных овощей и характеризует сопротивление деформации при сжатии. Полученные данные показали, что повышение температуры при конвективной сушке и увеличение мощности микроволн приводили к росту твёрдости образцов.

Для конвективной сушки диапазон значений твёрдости составил 0,6–6,6 Н, а для микроволновой – 0,4–28,7 Н. Наибольшие значения наблюдались у образцов толщиной 7 мм, высушенных при 340 Вт. Таким образом, микроволновая сушка формировала более плотную и твёрдую структуру, что связано с

Таблица 1 – Текстурные характеристики ломтиков лука при различных методах сушки

| Метод сушки   | Толщина ломтиков, мм | Предобработка (8% NaCl) | Температура / мощность | Твёрдость (Н) | Клейкость (Н) | Жевательность (Н) | Упругость (мм) |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|
| Конвективная  | 3                    | без обработки           | 50 °С                  | 0,59          | 0,37          | 0,3               | 0,65           |
| Конвективная  | 3                    | в рассоле               | 60 °С                  | 2,45          | 1,25          | 1,03              | 0,71           |
| Конвективная  | 7                    | без обработки           | 70 °С                  | 6,62          | 4,72          | 3,84              | 1,55           |
| Конвективная  | 7                    | в рассоле               | 70 °С                  | 7,1           | 5,15          | 4,05              | 1,52           |
| Микроволновая | 3                    | без обработки           | 68 Вт                  | 0,39          | 0,22          | 0,3               | 0,68           |
| Микроволновая | 3                    | в рассоле               | 204 Вт                 | 3,86          | 2,45          | 2,25              | 0,69           |
| Микроволновая | 7                    | без обработки           | 340 Вт                 | 28,66         | 16,25         | 9,28              | 1,42           |
| Микроволновая | 7                    | в рассоле               | 340 Вт                 | 5,15          | 2,9           | 1,65              | 1,4            |

интенсивным переносом влаги и возможным образованием микротрещин в тканях.

Предобработка в солевом растворе по-разному влияла на структуру: при конвективной сушке наблюдалось повышение твёрдости, тогда как при микроволновой – её снижение, что объясняется более коротким временем обезвоживания и ослаблением клеточных связей под действием NaCl.

Показатель клейкости, рассчитываемый как произведение твёрдости на когезивность, имел тенденцию изменяться аналогично твёрдости. Для конвективной сушки значения составляли 0,37–4,72 Н, а для микроволновой – 0,22–16,25 Н.

При увеличении температуры или мощности микроволн наблюдалось повышение клейкости, что указывает на образование более плотной и менее эластичной структуры. Предобработка в рассоле снижала этот показатель для микроволновых образцов, вероятно, из-за ускоренного удаления влаги и предотвращения избыточного уплотнения тканей.

Жевательность, как производная от клейкости и когезивности, также возрастала при увеличении температуры и мощности микроволн. Максимальные значения достигали 9,3 Н для 7-мм ломтиков, высушенных при 204–340 Вт. При конвективной сушке рост температуры приводил к умеренному повышению жевательности, причём предобработка усиливала этот эффект для более толстых образцов. Данный результат согласуется с литературными данными, указывающими на увеличение жевательности фруктов и овощей при сушке горячим воздухом вследствие потери упругости тканей.

Упругость характеризует способность образца восстанавливать форму после сжатия. В ходе эксперимента установлено, что упругость увеличивалась с ростом толщины ломтиков и была выше при конвективной сушке. Средние значения составили 1,52 мм для конвективного и 1,42 мм для микроволнового метода. Существенной зависимости между

температурой и упругостью не выявлено, что согласуется с предположением о преобладании геометрического фактора (толщины) над тепловым.

Для каждого текстурного параметра были разработаны эмпирические модели зависимости от факторов: температуры/мощности (Т/Р), толщины ломтика (L) и наличия предобработки (В). Коэффициенты детерминации моделей составляли  $R^2 = 0,93–0,99$ , что свидетельствует о высокой степени адекватности описания экспериментальных данных.

Модель зависимости твёрдости:

$$T = -9,274 + 0,015P + 2,872L - 7,146B + 0,002PL + 0,027PB - 2,676LB + 0,007PLB \quad (1)$$

Модель зависимости клейкости:

$$K = 1,905 + 0,002P + 0,644L + 2,067B + 0,003PL - 0,017PB - 0,816LB + 0,002PLB \quad (2)$$

Модель зависимости жевательности:

$$J = 7,843 - 0,135T - 0,752L + 5,225B + 0,017TL - 0,084TB - 0,235LB \quad (3)$$

Модель зависимости упругости:

$$U = 0,1684 - 0,000P + 0,174L + 0,176B - (5,57 \cdot 10^{-5})PL - 0,001PB + 0,034LB - (9,25 \cdot 10^{-5})PLB \quad (4)$$

Особенно точные модели получены для микроволновой сушки, где изменения текстуры происходят быстрее и более выражены. Модели могут использоваться для прогнозирования свойств сушёных овощей при варьировании параметров процесса.

Микроволновая сушка обеспечила значительное сокращение времени обработки, однако сопровождалась повышением твёрдости, жевательности и клейкости продукта, что может негативно сказаться на органолептических свойствах. Конвективная сушка, напротив, формировала более мягкую и эластичную текстуру, хотя требовала больше времени и энергии.

Таким образом, выбор метода зависит от приоритетов технолога: при необходимости сохранения

структуры и мягкости предпочтительна конвективная сушка, а для ускорения процесса – микроволновая, с возможным применением предварительной обработки для регулирования текстуры.

### Выводы

Исследовано влияние конвективной и микроволновой сушки, предварительной обработки в расоле и толщины ломтиков на текстуру лука.

Установлено, что микроволновая сушка фор-

мирует более твёрдую и жевательную структуру, тогда как конвективная обеспечивает большую упругость и мягкость продукта. Предобработка в 8%-ном растворе NaCl повышает твёрдость при конвективной сушке и снижает её при микроволновой. Увеличение толщины ломтиков способствует росту упругости.

Разработанные эмпирические модели позволяют прогнозировать изменение текстурных свойств и могут быть использованы для оптимизации режимов сушки овощей.

### Литература

- [1] Зизина Я. Ф., Галеев Р. Р. Урожайность и качество лука репчатого в однолетней культуре в зависимости от площади питания в лесостепи Новосибирского Приобья //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 3 (113). – С. 19-22.
- [2] Нефедова А. В., Киселева Т. Л. Лук и чеснок в фитотерапии и гомеопатии. Публикация 2: Химический состав производящих растений и сырья //Традиционная медицина. – 2004. – №. 1. – С. 33-40.
- [3] Наумова Н. Л. и др. Сравнительная оценка пищевой ценности и безопасности свежего желтого и красного репчатого лука //Инновации и продовольственная безопасность. – 2024. – №. 1. – С. 63-69.
- [4] Бочаров В. А. Выбор оптимального способа сушки для получения быстрорастворимых сушеных овощей //Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2010. – №. 1. – С. 89-91.
- [5] Коршунова В. В. и др. Использование пищевых добавок на основе ИК-сушёных овощей для создания продуктов питания лечебно-профилактического назначения //Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – №. 4. – С. 86-90.
- [6] Иванова Э. С. и др. Инновационные конструкции и технологии сушки плодовоовощной продукции // Наука в центральной России. – 2021. – №. 1. – С. 43-53.
- [7] Лазин П. С. Повышение эффективности технологии сушки плодоягодной продукции //Вестник Мичуринского ГАУ. – 2017. – №. 2. – С. 140.
- [8] Поперечный А. М., Корнийчук В. Г. Инновационные перспективы переработки растительного пищевого сырья //Инновационные перспективы Донбасса. – 2015. – С. 103-110.
- [9] Шлягун Г. Современные технологические процессы сушки в обеспечении качества пищевой сельскохозяйственной продукции //Pomicultura, Viticultura și Vinificația. – 2016. – Т. 65. – №. 5-6. – С. 43-46.

### References

- [1] Zizina, Y. F., & Galeev, R. R. (2014). Urozhaynost' i kachestvo luka repchatogo v odnoletney kul'ture v zavisimosti ot ploshchadi pitaniya v lesostepi Novosibirskogo Priob'ya [Yield and quality of bulb onion in annual culture depending on plant spacing in the forest-steppe of Novosibirsk Priobye]. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Altai State Agrarian University], (3)(113), 19–22.
- [2] Nefedova, A. V., & Kiseleva, T. L. (2004). Luk i chesnok v fitoterapii i gomeopatii. Publikatsiya 2: Khimicheskiy sostav proizvodnyashchikh rasteniy i syr'ya [Onion and garlic in phytotherapy and homeopathy. Publication 2: Chemical composition of producing plants and raw materials]. Tradiczionnaya meditsina [Traditional Medicine], (1), 33–40.
- [3] Naumova, N. L., et al. (2024). Sravnitel'naya otsenka pishchevoy tsennosti i bezopasnosti svezhego zhelтого i krasnogo repchatogo luka [Comparative assessment of nutritional value and safety of fresh yellow and red bulb onion]. Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost' [Innovations and Food Security], (1), 63–69.
- [4] Bocharov, V. A. (2010). Vybora optimal'nogo sposoba sushki dlya polucheniya bystrorazvarivaemykh sushenykh ovoshchey [Selection of the optimal drying method for producing quick-cooking dried vegetables]. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Michurin State Agrarian University], (1), 89–91.
- [5] Korshunova, V. V., et al. (2016). Ispol'zovanie pishchevykh dobavok na osnove IK-sushenykh ovoshchey dlya sozdaniya produktov pitaniya lechebno-profilakticheskogo naznacheniya [Use of food additives based on infrared-dried vegetables for functional food development]. Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet) [Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University], (4), 86–90.
- [6] Ivanova, E. S., et al. (2021). Innovatsionnye konstruksii i tekhnologii sushki plodovoovoshchnoy produktsii [Innovative designs and drying technologies

- [10] Перепрыгин Е. А., Рафалович И. С. Сушка как способ переработки пищевых продуктов //Пищевые инновации в биотехнологии. – 2018. – С. 248-251.
- for fruit and vegetable products]. Nauka v tsentral'noy Rossii [Science in Central Russia], (1), 43–53.
- [7] Lazin, P. S. (2017). Povysheniye effektivnosti tekhnologii sushki plodovoyagodnoy produktsii [Improving the efficiency of fruit and berry drying technology]. Vestnik Michurinskogo GAU [Bulletin of Michurin State Agrarian University], (2), 140.
- [8] Poperchnyy, A. M., & Korniychuk, V. G. (2015). Innovatsionnye perspektivy pererabotki rastitel'nogo pishchevogo syr'ya [Innovative prospects for processing plant-based food raw materials]. In Innovatsionnye perspektivy Donbassa [Innovative Prospects of Donbas] (pp. 103–110).
- [9] Shlyagun, G. (2016). Sovremennyye tekhnologicheskiye protsessy sushki v obespechenii kachestva pishchevoy sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Modern drying technologies in ensuring the quality of agricultural food products]. Pomicultura, Viticultura și Vinificația, 65(5–6), 43–46.
- [10] Pereprygin, E. A., & Rafalovich, I. S. (2018). Sushka kak sposob pererabotki pishchevykh produktov [Drying as a method of food processing]. In Pishchevyie innovatsii v biotekhnologii [Food Innovations in Biotechnology] (pp. 248–251).

Сведения об авторах

Information about the authors

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Баженова Елена Дмитриевна</b><br/> магистрант кафедры «Пищевые производства»<br/> ФГБОУ ВО «Пензенский государственный<br/> технологический университет»<br/> 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11<br/> <b>E-mail:</b> lesya3191@mail.ru</p>                                                       | <p><b>Bazhenova Elena Dmitrievna</b><br/> undergraduate of the department «Food productions»<br/> Penza State Technological University<br/> <b>E-mail:</b> lesya3191@mail.ru</p>                                                                     |
| <p><b>Фролов Дмитрий Иванович</b><br/> кандидат технических наук<br/> доцент кафедры «Пищевые производства»<br/> ФГБОУ ВО «Пензенский государственный<br/> технологический университет»<br/> 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11<br/> <b>Тел.:</b> +7(937) 408-35-28<br/> <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p> | <p><b>Frolov Dmitriy Ivanovich</b><br/> PhD in Technical Sciences<br/> associate professor at the department of «Food productions»<br/> Penza State Technological University<br/> <b>Phone:</b> +7(937) 408-35-28<br/> <b>E-mail:</b> surr@bk.ru</p> |