

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.563.2:631.53.011:633.358

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-65-72>

## Влияние различных способов сушки на физико-механические свойства и всхожесть семян гороха

*А.Н. Мартеха*<sup>1✉</sup>, *В.В. Торопцев*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

<sup>1</sup> man6630@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>

<sup>2</sup> toroptsev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

**Аннотация.** Процесс сушки посевного материала влияет на качество семян. С целью выбора подходящего способа сушки для зелёного горошка проведено исследование по влиянию конвективной и вакуумной сушки, а также комбинации сушки и предварительной микроволновой обработки семян на всхожесть и физико-механические свойства зерна гороха. Конвективная сушка в сушильном шкафу проводилась при температуре 65...70°C, вакуумная сушка в вакуумно-ротаторной сушилке – при той же температуре и давлении 0,9 МПа. Предварительная микроволновая обработка семян проводилась при частоте электромагнитного поля 900 МГц и импульсном излучении длительностью 60 с. В качестве свежего образца исследовали замороженный при –20°C и предварительно бланшированный горох. Механические свойства свежеразмороженного и сушеного гороха измеряли с помощью анализатора текстуры Структурометр СТ-2. Измерения окраски зёрен гороха производились трехфилтровым колориметром КФК-2. Через 24 ч обработки для обоих способов сушки получен абсолютно сухой продукт. В результате сушки геометрический и арифметический диаметры зёрен гороха уменьшились на 21...23%. При конвективной сушке нарушение сферичности зёрен гороха наблюдалось у 4...5% зёрен. При вакуумной сушке в сравнении с конвективной сушкой наблюдалось статистически значимое снижение плотности зёрен гороха на 6...% и нагрузки на 50...70%. Микроволновая обработка семян, и особенно совместно с конвективной сушкой, оказывает статистически значимое влияние на механические свойства и внутреннюю текстуру гороха. Вакуумная сушка в отличие от микроволновой обработки и конвективной сушки не влияет на цвет семян. Вакуумная сушка с предварительной микроволновой обработкой обеспечила наивысшую всхожесть семян гороха 95...97%. Наибольшая эффективность вакуумной сушки с предварительной микроволновой обработкой семян зелёного горошка позволяет рекомендовать данный вид сушки при уборке и переработке урожая зерновых бобовых культур.

**Ключевые слова:** способ сушки семян гороха, физико-механические свойства семян гороха, конвективная сушка, вакуумная сушка, микроволновая обработка семян, сушка зёрен гороха, всхожесть семян гороха

**Для цитирования:** Мартеха А.Н., Торопцев В.В. Влияние различных способов сушки на физико-механические свойства и всхожесть семян гороха // *Агроинженерия*. 2024. Т. 26, № 1. С. 65-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-65-72>

ORIGINAL PAPER

## Influence of various types of drying on the germination and physico-mechanical properties of pea seeds

*A.N. Martekha*<sup>1✉</sup>, *V.V. Toroptsev*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

<sup>1</sup> man6630@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>

<sup>2</sup> toroptsev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

**Abstract.** Seed drying affects the quality of seed material. To select a suitable drying method for green peas, the authors studied the effect of convective and vacuum drying, as well as a combination of drying and preliminary

microwave treatment of seeds on the germination and physic-mechanical properties of peas. The temperature of convective drying in an oven ranged between 65 and 70°C, vacuum drying in a vacuum rotary dryer was carried out at the same temperature and a pressure of 0.9 MPa. Preliminary microwave treatment of seeds was carried out at an electromagnetic field frequency of 900 MHz and pulsed radiation lasting for 60 s. Peas frozen at -20°C and pre-blanching were tested as a fresh sample. The mechanical properties of freshly defrosted and dried peas were measured using a texture analyzer, Structometer ST-2. The color of pea grains was measured with a three-filter colorimeter KFK-2. The completely dry product was obtained after 24 hours of processing for both drying methods. As a result of drying, the geometric and arithmetic diameter of pea grains decreased by 21 to 23%. During convective drying, the loss of sphericity in peas was observed in 4 to 5% of the grains. During vacuum drying, as contrasted to convective drying, a statistically significant decrease in the density of pea grains by 6 to 7% and load by 50 to 70% was observed. Microwave treatment of seeds, especially in combination with convective drying, has a statistically significant effect on the mechanical properties and internal texture of peas. Vacuum drying, unlike microwave processing and convective drying, does not affect the seed color. Vacuum drying with preliminary microwave treatment ensured the highest germination of pea seeds of 95 to 97%. The greatest efficiency of vacuum drying with preliminary microwave treatment of green peas makes this type of drying a good option for harvesting and processing legumes.

**Keywords:** method of drying pea seeds, physical and mechanical properties of pea seeds, convective drying, vacuum drying, microwave treatment of seeds, drying of pea grains, germination of pea seeds

**For citation:** Martekha A.N., Toroptsev V.V. Influence of various types of drying on the germination and physico-mechanical properties of pea seeds. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(1):65-72. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-65-72>

## Введение

Процесс сушки посевного материала влияет на качество семян [1]. Недавние исследования по сушке сельскохозяйственной продукции с использованием вакуумной и микроволновой техники показали перспективность комбинированной сушки, обеспечивающей высокое качество при минимально возможных энергозатратах. На последнем этапе сушки применение вакуума и СВЧ-воздействия одновременно с контролем температуры способствует созданию новых биоактивных соединений и хрустящей текстуры высушенного продукта [2]. Тем не менее для оптимизации процесса комбинированной сушки по критерию показателя качества готовой продукции требуются дополнительные исследования других видов обработки, интенсифицирующих удаление влаги, обеспечивающих улучшение органолептических характеристик и сохранение полезных свойств пищевых продуктов.

Отметим, что механические и термические повреждения в процессе сушки семян составляют большую часть среди всех травмированных семян, прошедших послеуборочную обработку. Повышение доли травмированных семян на 10% приводит к снижению урожайности более чем на 1 ц/га. Поскольку физико-механические свойства семян влияют на их качество, то важно изучить изменение этих свойств при различных способах сушки [1].

Среди зерновых культур зелёный горошек отличается большим содержанием белка и является хорошим лечебно-профилактическим средством [3].

Наиболее распространёнными способами консервации зелёного горошка являются сушка на солнце, конвективная сушка горячим воздухом, в кипящем слое, с использованием микроволнового излучения, сушка с замораживанием и с инфракрасным излучением, а также вакуумная сушка. При консервации зелёного горошка возможна комбинация двух или более способов сушки [3]. Недостаточная изученность влияния различных способов сушки на всхожесть и физико-механические свойства семян гороха послужила целью исследований.

**Цель исследований:** сравнительный анализ различных способов сушки зерна гороха для установления их влияния на всхожесть и физико-механические свойства сырья.

## Материалы и методы

В исследованиях использован замороженный при температуре -20°C горох, предварительно бланшированный. В ходе экспериментов отбирали более крупные зёрна однородных размеров с коэффициентом вариации менее 10%.

Выбор параметров процесса сушки обусловлен сохранением качества сырья [2, 3].

Конвективную сушку семян гороха проводили в сушильном шкафу при температуре 65...70°C. Вакуумная сушка в вакуумно-ротаторной сушилке производилась с производительностью 300 кг/ч осуществлялась при температуре 65...70°C и пониженном давлении 0,9 МПа.

Также в процессе конвективной и вакуумной сушки исследовалось влияние предварительной

микроволновой обработки семян в аппарате производительностью 250 кг/ч, электрической мощностью 700 Вт, при частоте электромагнитного поля 900 МГц и импульсном излучении длительностью 60 с.

Все испытания проводили в трехкратной повторности с образцами массой около 25 г, которые помещали на алюминиевые подносы. Кинетика сушки измерялась путём забора образцов и их взвешивания с использованием электронных весов каждый час в течение 6 ч. Последнее измерение проведено через 24 ч после начала сушки, и был получен абсолютно высушенный образец зёрен гороха [4].

Длину, ширину и высоту горошин измеряли подвижным щупом (класс точности – 0,1 мм). Измерения проводили до сушки и после неё в 10-кратной повторности. На основании полученных размеров зёрен гороха определились следующие показатели:

– геометрический диаметр зерна  $D_g$ , мм,

$$D_g = (l \cdot w \cdot t)^{1/3}, \quad (1)$$

где  $l$ ,  $w$ ,  $t$  – длина, ширина и высота зёрен гороха соответственно, мм;

– среднеарифметическое значение диаметра зерна  $D_a$ , мм,

$$D_a = \frac{(l + w + t)}{3}, \quad (2)$$

– сферичность зерна,  $\psi$ ,

$$\psi = \frac{D_g}{t}, \quad (3)$$

– форма зерна,  $f$ , определяемая по стандарту ISO 5691-1981 [5]:

$$f = \frac{l^2}{w \cdot t} - 100. \quad (4)$$

На основании измеренного веса и содержания влаги в образцах гороха в начале, во время и в конце процесса усадки был определен коэффициент влажности ( $\varphi_i/\varphi_0$ ) [6], где  $\varphi_i$  – содержание влаги в определенный момент измерения,  $\varphi_0$  – начальная влажность.

В начале и в конце конвективной и вакуумной сушки измеряли массу и объём образца, на основании чего определяли удельную массу образца. Измерение объёма производили на аналитических весах *GH* (класс точности – 0,001 г), измеряя изменение массы при погружении образца в изопропиловый спирт плотностью 786 кг/м<sup>3</sup>. Размер выборки – 6...7 зёрен гороха, измерение проводили в 10-кратной повторности.

Механические свойства свежеразмороженного и сушёного гороха измеряли с помощью анализатора текстуры Структурометр СТ-2 (с ячейкой для измерения нагрузок до 500 Н). Проводились испытания на сжатие. Давление создавалось с помощью

плоской металлической пластины диаметром 50 мм, помещённой на плоское металлическое основание из того же материала. При испытании нагрузки, действующей на зерно гороха, скорость движения пластины составляла 30 мм/мин. Измерения заканчивали при достижении значения усилия нагрузки 150 Н. При приложении нагрузки к высушенному зерну гороха очень быстро происходит его растрескивание, а затем и полное разрушение [7]. При анализе данных измерений было установлено, что образцы ломались на расстоянии 1,5 мм.

Для более точного определения влияния способов сушки на механические свойства зерна гороха приняты интервалы пройденного пути ( $D$ ): 0...0,5; 0,5...1,0; 1,0...1,5 мм. Для указанных интервалов расстояний рассчитывали средние значения ( $X$ ), стандартное отклонение ( $S_d$ ) и коэффициент вариации ( $C_v$ ) в зависимости от нагрузки ( $F$ ). Испытание давлением проводили в 10 повторениях.

Для измерения окраски зёрен гороха до сушки и после неё разными методами, а также предварительно обработанных СВЧ-излучением использовали трехфильтровый колориметр КФК-2. Цветовая система CIE  $L^*a^*b^*$ , основанная на методе трех фильтров, была выбрана для выражения количественных параметров цвета. В этой системе  $L^*$  представляет яркость, а координаты  $a^*$  и  $b^*$  – цвет. Отрицательное значение  $a^*$  обозначается зелёным цветом, а положительное значение – красным. Отрицательный  $b^*$  – жёлтый цвет, положительный – синий [8]. Суммарные цветовые различия  $\Delta E^*$  рассчитывали по уравнению:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}, \quad (5)$$

где  $L_0^*$ ,  $L^*$  – яркость зёрен до сушки и после неё;  $a_0^*$ ,  $b_0^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  – цветовая гамма зёрен до сушки и после неё.

Горох в несколько слоев насыпали в металлическую ёмкость и после калибровки прибора проводили по 10 измерений для каждого варианта.

Для проведения лабораторных опытов на всхожесть из насыпи культуры с помощью щупа по стандартной методике отбирались по 1 кг пробы, которые были упакованы в мешки и опечатаны. Мешки доставляли в лабораторию, вскрывали, вручную отбирали по 100 зёрен для определения всхожести в опытной партии. Опыт проведён в четырёх повторностях, использован метод проращивания на ложе из песка [1].

Статистически значимые различия при пороге значимости 5% между способами сушки выполняли путём тестирования дисперсионного анализа типа ANOVA, а более точное определение наличия статистически значимых различий между отдельными вариантами производили с помощью метода Дункана.

Обработка результатов тестирования производилась с использованием пакета программ *Statistica*. Значения среднего арифметического  $X$ , стандартного отклонения  $S_d$  и коэффициента вариации  $C_v$  рассчитывали с использованием программного пакета *Microsoft Excel*.

### Результаты и их обсуждение

**Размеры и форма зерна гороха.** Измеренные размеры и параметры формы зёрен гороха (геометрический и арифметический диаметры, сферичность и коэффициент формы) представлены в таблице 1. Зерно гороха содержит около 75% воды, поэтому неизбежно изменение его размеров в процессе сушки [9]. При анализе сферичности статистически значимые различия между свежими и высушенными образцами не обнаружены. Однако у образцов, высушенных конвективным и вакуумным способами сушки, различия проявились. Применение предварительной микроволновой обработки не вызывало изменения сферичности для наблюдаемых способов сушки. В соответствии со стандартом ISO 5691-1981 измеренные зёрна свежего и сушёного гороха по значениям формы относятся к группе круглых (значения индекса – 100...160).

Отметим, что для вакуумной сушки, проводимой при высокой температуре (65...70°C), определялись статистически более значимые показатели формы по сравнению со свежими и конвективно высушенными образцами.

**Влажность.** Первоначальная влажность зёрен гороха  $\varphi_0$ , предварительно замороженных при температуре  $-20^\circ\text{C}$  и помещённых в пластиковую упаковку, составила 74,78% от начальной влажности, что согласуется со значениями И.С. Богомолова [3]. По изменению  $\varphi/\varphi_0$  установлено большое влияние способа сушки на её скорость. За трёхчасовой период конвективной сушки и конвективной сушки с предварительным микроволновым воздействием влажность снизилась соответственно до 15 и 16%, а при вакуумной сушке и вакуумной сушке с предварительным микроволновым воздействием по-прежнему имела высокие значения – 53 и 56% (рис. 1). Через 5 ч различия между способами сушки значительно уменьшились, а после 6 ч были минимальными. Через 24 ч обработки при заданных параметрах для обоих способов сушки был получен абсолютно сухой продукт. Предварительная обработка микроволновым излучением не оказала существенного влияния на изменение влажности.

Таблица 1

Размер и форма гороха в зависимости от способа сушки

Table 1

Dimension and shape of the grain of peas depending on drying methods

Вид воздействия <i>Type of impact</i>	Параметр* <i>Parameter</i>	Диаметр зерна, мм / <i>Grain diameter, mm</i>		Сферичность зерна <i>Grain sphericity, <math>\psi</math></i>	Форма зерна <i>Grain shape, <math>f</math></i>
		Геометрический <i>Geometric, <math>D_g</math></i>	Среднеарифметический <i>Arithmetic mean, <math>D_a</math></i>		
Без воздействия (свежий) <i>No impact (fresh)</i>	$X$	8,26a**	8,27a	1,11ab	127,66b
	$S_d$	0,78	0,76	0,05	11,08
	$C_v$	9,24	9,25	3,97	8,67
Конвективная сушка <i>Convective drying</i>	$X$	6,48b	6,50b	1,09b	126,65b
	$S_d$	0,91	0,92	0,05	17,91
	$C_v$	14,16	14,25	4,12	14,12
Конвективная сушка + + микроволновое воздействие <i>Convective drying + + microwave treatment</i>	$X$	6,31b	6,34b	1,12ab	140,05ab
	$S_d$	0,79	0,73	0,11	26,73
	$C_v$	12,14	11,77	10,14	18,55
Вакуумная сушка <i>Vacuum drying</i>	$X$	6,42b	6,49b	1,16a	151,50a
	$S_d$	0,66	0,67	0,12	20,42
	$C_v$	10,36	10,04	8,07	13,46
Вакуумная сушка + + микроволновое воздействие <i>Vacuum drying + microwave treatment</i>	$X$	6,40b	6,45b	1,15a	148,01a
	$S_d$	0,51	0,50	0,06	15,05
	$C_v$	8,06	7,87	5,74	10,15

\* $X$  – среднее значение;  $S_d$  – стандартное отклонение;  $C_v$  – коэффициент вариации.

\*\*a, b и ab указывают на статистически равные значения при уровне значимости 5%.

\* $X$  – average value;  $S_d$  – standard deviation;  $C_v$  – coefficient of variation.

\*\*a, b and ab indicate statistically equal values at the 5% significance level.

*Удельная масса (плотность).* Самые высокие значения плотности ( $\rho$ ) были зафиксированы в свежем образце. При разных способах сушки значения удельной массы зёрен отличались (рис. 2), а это означает, что существуют различия во внутренней текстуре материала. Значения удельной массы зерна существенно ниже по сравнению с удельной массой воды, что свидетельствует о наличии остаточных пустот в ткани [9]. Наименьшие значения удельной массы были определены для зёрен гороха, высушенных в вакууме. Применение кратковременного микроволнового излучения перед сушкой не оказало статистически значимого влияния на изменение удельной массы.

*Механические свойства.* Образцы высушенных зёрен гороха и предварительно обработанных СВЧ-излучением подвергли сжатию и получили зависимость значений нагрузки ( $F$ ) от деформации ( $\delta$ ) (рис. 3).

Зерно гороха, предварительно бланшированное и замороженное, а затем размороженное, не оказывает большого сопротивления прикладываемому усилию, а значение нагрузки постоянно увеличивается без резких скачков. Можно сделать вывод о том, что зёрна гороха имеют низкие значения показателей прочности на сжатие и твёрдости, которые достигаются при медленном увеличении деформации. Через 24 ч сушки одним из применяемых способов при температуре 70°C горох полностью высыхает и становится твёрдым и ломким.

При определении механических свойств наибольший интерес представляет определение величины нагрузки и деформации, при которых происходит хрупкое разрушение зерна [10]. Изменение деформаций наблюдалось в трёх интервалах: 0...0,5; 0,5...1,0; 1,0...1,5 мм. Уже в первом интервале (0...0,5 мм) отчетливо выделяются более высокие

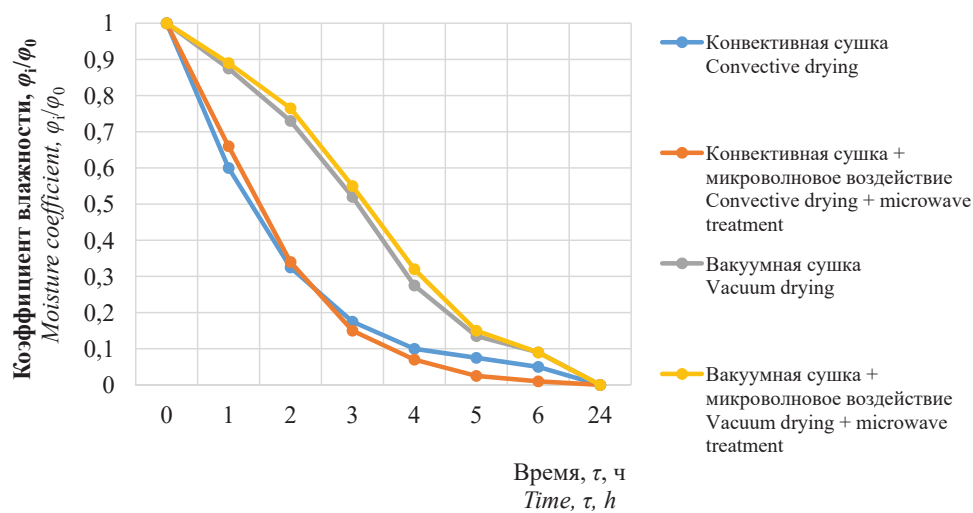


Рис. 1. Изменение коэффициента влажности ( $\phi_i/\phi_0$ ) гороха во времени при разных способах сушки

Fig. 1. Change in the moisture coefficient ( $\phi_i/\phi_0$ ) of peas over time with different drying methods

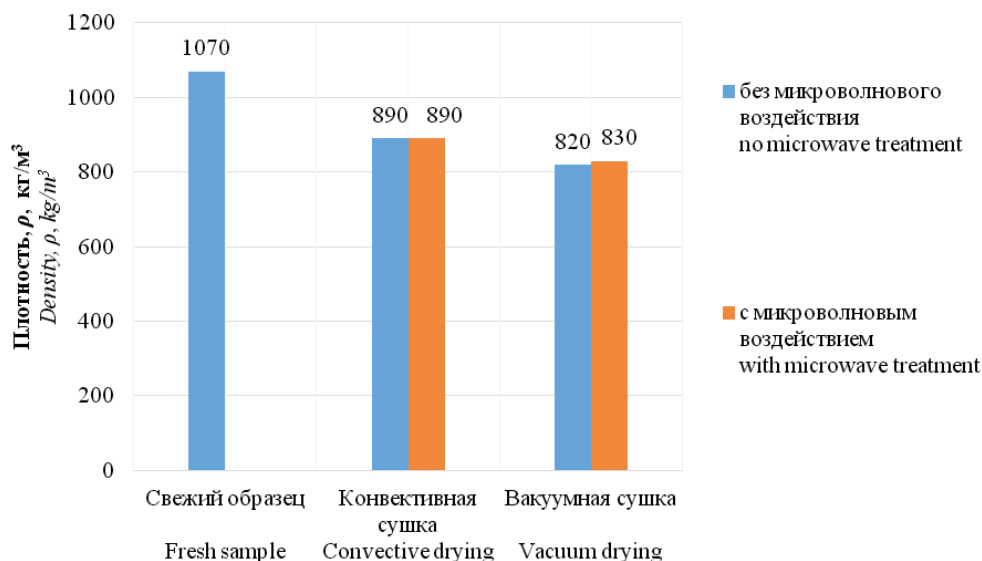


Рис. 2. Изменение плотности гороха в зависимости от способа сушки

Fig. 2. Density of pea grains depending on the drying methods

значения нагрузки при применении конвективной сушки с предварительной СВЧ-обработкой и без нее.

В первом интервале при вакуумной сушке были получены более низкие значения нагрузки, чем при конвективной сушке. Коэффициент вариации в первом интервале достигал 67...75%, что является следствием большого разброса значений измеряемых нагрузок ввиду неоднородного поведения материала. Во втором и третьем интервалах (0,5...1,0 и 1,0...1,5 мм) при обоих способах сушки наблюдалось увеличение нагрузки, однако её значения были значительно выше при конвективной сушке, чем при вакуумной.

На основании разницы в измеренных показаниях установлено, что способ сушки влияет на внутреннюю текстуру зёрен гороха. Расчётное значение коэффициента вариации во втором и третьем интервалах уменьшилось в несколько раз (16...42%), что демонстрирует характер изменения нагрузки после начального хрупкого разрушения зёрен, а также позволяет сделать более точные выводы. Микроволновое излучение, применяемое при конвективной сушке, значительно

снижает значения нагрузки, однако при вакуумной сушке с применением СВЧ-воздействия они остаются прежними или даже увеличиваются.

Измеренные значения, полученные в эксперименте, подтверждают влияние микроволнового излучения на механические свойства гороха, так как воздействие такого поля на материал высокой влажности приводит к разрушению внутренней структуры за счёт интенсивного нагрева. Ещё большее влияние на механические свойства и консистенцию зёрен гороха оказывает комбинированная конвективно-микроволновая или вакуумно-микроволновая сушка.

**Всхожесть.** Проверка посевных качеств семян показала, что семена гороха, высушенные комбинированным способом, имеют более высокую всхожесть (табл. 2).

**Цвет.** Установлены статистически значимые различия показателей окраски как между замороженным и размороженным горохом, так и между свежим и сушёным горохом, а также различия между применяемыми способами сушки (табл. 3).

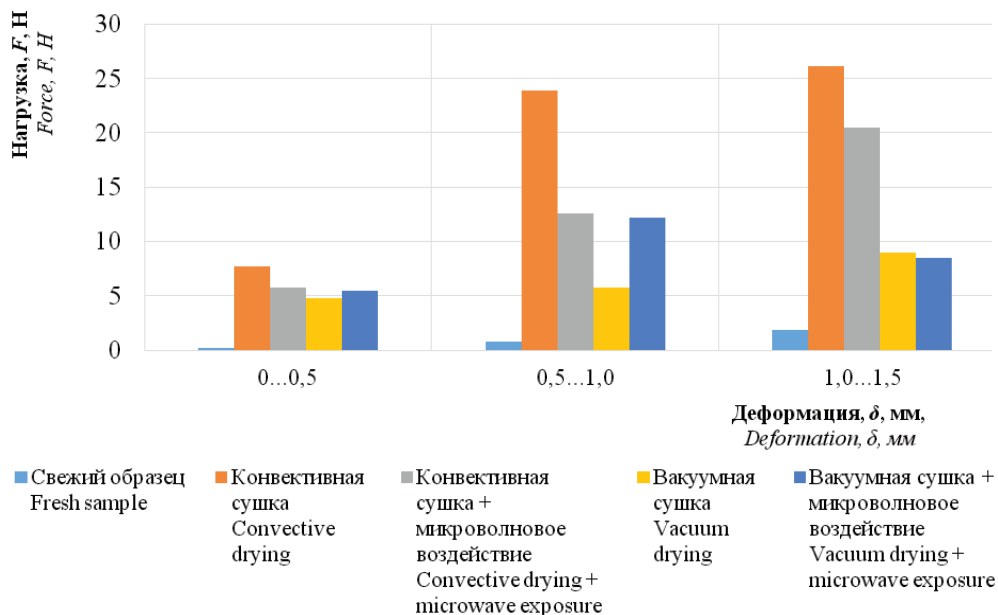


Рис. 3. Изменение нагрузки в зависимости от деформации при различных способах сушки гороха  
 Fig. 3. Change of load depending on distance and methods of pea drying

Влияние способов сушки на всхожесть семян гороха

Таблица 2

Effect of drying methods on the germination of pea seeds

Table 2

Показатель Index	Способ воздействия / Treatment method			
	Конвективная сушка Convective drying	Конвективная сушка + микроволновое воздействие Convective drying + microwave treatment	Вакуумная сушка Vacuum drying	Вакуумная сушка + микроволновое воздействие Vacuum drying + microwave treatment
Всхожесть, % Germination rate, %	92	95	94	97

Таблица 3

Параметры цвета в зависимости от способа сушки зерна гороха

Table 3

Color parameters depending on the drying method of peas

Вид образца и способ сушки Type of sample and drying method	Яркость, $L^*$ Brightness, $L^*$	Параметр цвета / Color parameter		Суммарные различия в цвете, $\Delta E^*$ Total color differences, $\Delta E^*$
		Зеленый, $a^*$ Green, $a^*$	Синий, $b^*$ Blue, $b^*$	
Замороженный сырой Frozen raw	44,71bc**	-13,08c	21,88d	47,56c
	2,06	1,21	1,51	2,12
	4,65	-9,18	6,94	4,42
Размороженный сырой Defrosted raw	39,71d	-23,05e	34,61a	58,95a
	2,21	1,45	1,48	1,89
	5,55	-6,32	4,25	3,21
Высушенный конвективной сушкой Dried by convective drying	45,02b	-12,21bc	26,31c	48,07c
	1,12	1,24	2,57	1,51
	2,45	-10,25	9,75	3,12
Высушенный конвективной сушкой с предварительным микроволновым воздействием Dried by convective drying + microwave treatment	50,22a	-8,41a	20,65d	45,75d
	1,81	1,13	2,38	1,62
	3,62	-13,36	11,58	3,56
Высушенный вакуумной сушкой Dried by vacuum drying	43,02c	-14,31d	29,66b	50,31b
	2,84	0,44	0,72	1,15
	6,60	-3,13	2,45	2,31
Высушенный вакуумной сушкой с предварительным микроволновым воздействием Dried by vacuum drying + microwave treatment	44,87bc	-12,02b	29,79b	48,93bc
	1,23	0,21	0,48	0,50
	2,75	-1,67	1,57	1,05

**Примечание.** Отрицательное значение  $a^*$  – зелёный цвет, положительное значение – красный цвет; отрицательное значение  $b^*$  – жёлтый цвет, положительное значение – синий цвет.

\*\*a, b, c, d и bc указывает на статистически равные значения при уровне значимости 5%.

A negative value of  $a^*$  is marked green, and a positive value is marked red. Negative  $b^*$  is yellow, positive is blue.

\*\*a, b, c, d and bc indicate statistically equal values at the 5% significance level.

Наибольшее значение параметра яркости ( $L^*$ ) было определено при конвективной сушке с предварительной обработкой микроволнами. Наибольшая доля зелёной и синей окраски зафиксирована в свежеразмороженном образце гороха. При вакуумной сушке по сравнению с конвективной сушкой доли зелёного и синего цвета статистически более значимы.

Суммарные различия в цвете, просматриваемые через параметр  $\Delta E^*$ , также подтверждают установленные зависимости. Статистически наиболее значимые показатели получены для свежеразмороженного образца зёрен гороха. Значения, полученные при вакуумной сушке, статистически более значимы по сравнению с конвективной сушкой.

Эксперимент также показал, что вакуумная сушка позволяет получить продукт, близкий по цвету к свежему гороху. Предварительная обработка СВЧ-излучением оказала отрицательное влияние, особенно на параметры зелёного и синего цвета ( $a^*$  и  $b^*$ ), что еще более выражено при конвективной сушке.

**Выводы**

1. Исследования по сушке зелёного горошка с использованием конвективного, вакуумного и микроволнового способов показали перспективность применения вакуумной сушки с микроволновым воздействием, обеспечивающей всхожесть сырья на уровне 95...97%.

2. Микроволновое воздействие и конвективная сушка влияют на механические свойства зёрен гороха (значительно снижаются значения нагрузки), однако при вакуумной сушке с применением СВЧ значения остаются прежними или увеличиваются.

3. Результаты исследований можно использовать в качестве рекомендаций по выбору подходящего способа сушки зелёного горошка. Исследование технологии микроволнового воздействия является направлением дальнейших исследований.

## Список литературы

1. Ключников А.С. Исследование влияния новой технологии сушки на посевные качества семян зерновых культур // Известия ТСХА. 2020. № 1. С. 49-60. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-49-60>
2. Окунев А.В. Современные методы вакуумной и микроволновой сушки зерна и семян // Российский электронный научный журнал. 2021. № 1(39). С. 51-59. <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2021-39-1-51-59>
3. Богомолов И.С., Клейменова Н.Л., Копылов М.В. Исследование процесса сушки зерновых культур // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 14-19. EDN: FOQYNS
4. Королёв А.А., Урубков С.А., Смирнов С.О. Технологические аспекты получения бобового сырья для пищевых концентратов быстрого приготовления // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2019. № 12. С. 126-133. EDN: TBHRQL
5. Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Мартеха А.Н. Параметры процесса сушки ферментированного пшеничного сырья в виброкипящем слое // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. № 12. С. 54-55. EDN: RSQMQF
6. Антипов С.Т., Шахов С.В., Мартеха А.Н., Берестовой А.А. Оптимизация процесса прессования семян сафлора в ультразвуковом поле // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 1. С. 40-45. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-40-45>
7. Прибытков А.В., Овсянников В.Ю., Мартеха А.Н., Торопцев В.В. Основные факторы, влияющие на кинетику процесса сушки ферментированного пшеничного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2015. № 5. С. 33-35. EDN: UJZSZH
8. Константинов М.М., Румянцев А.А., Борзов Н.А. Методология количественной оценки цвета гречневой крупы при ее обработке // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (46). С. 105-110. <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2018-46-2-105-110>
9. Бабичева Е.Л., Рудобашта С.П., Сидельников И.И. Псевдооживление семян проса и гороха // Агроинженерия. 2021. № 5 (105). С. 13-19. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-5-13-19>
10. Курманов А.К., Камышева Н.А. Частная методика по исследованию процесса разрушения зерна гороха // 3i: Intellect, Idea, Innovation – Интеллект, идея, инновация. 2018. № 4. С. 76-81. EDN: NCNPZI

## Информация об авторах

**Александр Николаевич Мартеха**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент; [man6630@rgau-msha.ru](mailto:man6630@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>

**Василий Владимирович Торопцев**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент; [toroptsev@rgau-msha.ru](mailto:toroptsev@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

<sup>1,2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

## Вклад авторов

А.Н. Мартеха – концептуализация, методология, проведение исследований, руководство исследованиями, создание черновика рукописи, администрирование проекта  
В.В. Торопцев – проведение исследований, создание черновика рукописи, визуализация данных

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 11.08.2023; после рецензирования и доработки 22.12.2023; принята к публикации 28.12.2023

## References

1. Klyuchnikov A.S. Study of the influence of new drying technology on the quality of grain seeds. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020;1:49-60. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-49-60>
2. Okunev A.V. Modern methods of vacuum and microwave drying of grain and seeds. *Rossiyskiy Elektronnyy Nauchnyy Zhurnal*. 2021;1:51-59 (In Rus.) <https://doi.org/10.31563/2308-9644-2021-39-1-51-59>
3. Bogomolov I.S., Klejmenova N.L., Kopylov M.V. Research of grain crops drying process. *Polzunovskiy Vestnik*. 2021;4:14-19. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.002> (In Rus.)
4. Korolev A.A., Urubkov S.A., Smirnov S.O. Technological aspects of preparation of bean raw food concentrates of quick cooking. *Innovatsionnye Tekhnologii Proizvodstva i Khraneniya Materialnykh Tsennostey dlya Gosudarstvennykh Nuzhd*. 2019;12:126-133. (In Rus.)
5. Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Martekha A.N. The parameters of the drying process of fermented wheat raw material in the layer vibroboiling. *Storage and Processing of Farm Products*. 2013;12:54-55. (In Rus.)
6. Antipov S.T., Shahov S.V., Martekha A.N., Berestovoy A.A. Optimization of the process of pressing safflower seeds in an ultrasonic field. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017;79(1):40-45. (In Rus.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-40-45>
7. Pribytkov A.V., Ovsyannikov V.Yu., Martekha A.N., Toroptsev V.V. Analysis of the influence of the main factors on the kinetics of the process drying of raw fermented wheat vibroboiling pour in bed. *Storage and Processing of Farm Products*. 2015;5:33-35. (In Rus.)
8. Konstantinov M.M., Rumyantsev A.A., Borzov N.A. Methodology of quantitative assessment of buckwheat colour at its processing. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2018;2:105-110 (In Rus.) <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2018-46-2-105-110>
9. Babicheva E.L., Rudobashta S.P., Sidelnikov I.I. Fluidization of millet and pea seeds. *Agricultural Engineering*. 2021;5(105):13-19. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-5-13-19>
10. Kurmanov A.K., Kamysheva N.A. Special methodology for the research of the peas destruction process. *3i: Intellect, Idea, Innovation – Intellekt, Ideya, Innovatsiya*. 2018;4:76-81. (In Rus.)

## Author Information

**Aleksandr N. Martekha**<sup>1</sup>, CSc (Eng), Associate Professor; [man6630@rgau-msha.ru](mailto:man6630@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>

**Vasily V. Toroptsev**<sup>2</sup>, CSc (Eng), Associate Professor; [toroptsev@rgau-msha.ru](mailto:toroptsev@rgau-msha.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

<sup>1,2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

## Author Contribution

A.N. Martekha – conceptualization, methodology, conducting research and investigation, research management, manuscript original draft preparation, project administration  
V.V. Toroptsev – conducting research and investigation, manuscript draft writing, data visualization

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear responsibility for plagiarism

Received 11.08.2023; revised 22.12.2023; accepted 28.12.2023