

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ СЕМЯН ТЫКВЫ

**Резюме.** В зависимости от способа переработки из тыквенных семян получают масло и кормовой высокопротеиновый жмых. Семена после извлечения из плодов тыквы обычно высушивают до влажности 7–8%, что обеспечивает их дальнейшее эффективное хранение или переработку на масло и жмых с предварительным отделением или без отделения плодовой оболочки. Конвективная сушка является важным технологическим этапом подготовки семян тыквы к переработке. При расчете сушильных устройств необходимы надежные зависимости для определения продолжительности сушки и коэффициента массоотдачи. Экспериментально изучена кинетика обезвоживания семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» горячим воздухом при его скорости от 6 до 11 м/с и температуре от 60°C до 80°C. По характеру изменения графической зависимости скорости сушки во втором периоде семена тыквы изученных сортов можно отнести к капиллярно-пористым материалам согласно классификации А.В. Лыкова о формах связи влаги. Получены эмпирические зависимости для расчета коэффициента сушки и критериальные уравнения для вычисления коэффициента массоотдачи. Предложенные зависимости рекомендуется применять при проектировании конвективных сушильных устройств для семян тыквы.

**Ключевые слова:** семена тыквы, конвективная сушка, периоды сушки, коэффициент сушки, критериальное уравнение, коэффициент массоотдачи.

# STUDY OF THE KINETICS OF CONVECTIVE DRYING OF PUMPKIN SEEDS

**Abstract.** Depending on the processing method, pumpkin seeds are used to produce oil and high-protein feed cake. After removing the seeds from the pumpkin fruit, they are usually dried to a moisture content of 7–8%, which ensures their further effective storage or processing into oil and meal with or without prior separation of the fruit shell. Convective drying is an important technological stage in the preparation of pumpkin seeds for processing. When designing drying devices, reliable dependencies are needed to determine the drying time and mass transfer coefficient. The kinetics of dehydration of pumpkin seeds of the “Guitar” and “Winter Sweet” varieties with hot air at a speed of 6 to 11 m/s and a temperature of 60°C to 80°C were experimentally studied. According to the nature of the change in the graphical dependence of the drying rate in the second period, the pumpkin seeds of the selected varieties can be classified as capillary-porous materials, according to A.V. Lykova’s classification of moisture binding forms. Empirical dependencies for calculating the drying coefficient and criterion equations for calculating the mass transfer coefficient were obtained. The proposed dependencies are recommended for use in the design of convective drying devices for pumpkin seeds.

**Key words:** pumpkin seeds, convective drying, drying periods, drying coefficient, criterion equation, mass transfer coefficient.

УДК 66.047.3:66.047.085

**Научная статья**

DOI 10.69539/2413-287X-2026-02-2-261

**ГУЛМАХМАД ХОЛОВИЧ  
МИРЗОЗОДА (МИРЗОЕВ)<sup>1</sup>,**

кандидат технических наук, доцент  
ORCID: 0009-0007-8198-2913  
E-mail: sasonholov@gmail.com

**ВАЛЕНТИН ВИТАЛЬЕВИЧ  
ДЕРЕВЕНКО<sup>2</sup>,**

доктор технических наук, профессор  
ORCID: 0009-0002-9546-6198  
E-mail: ekotp@ekotp.ru

**СОФЬЯ ЭДУАРДОВНА  
ЕРМОЛОВА<sup>2</sup>,**

магистрант  
ORCID: 0009-0009-7615-0391  
E-mail: sudovikasofia@gmail.com

<sup>1</sup>Технологический университет  
Таджикистана

Таджикистан, г. Душанбе,  
ул. Негмата Карабаева, д. 63/3

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО Кубанский государственный  
технологический университет (КубГТУ)

350072, Россия, Краснодарский край,  
г. Краснодар, ул. Московская, д. 2

Поступила в редакцию: 26.01.2026

Одобрена после рецензирования:  
04.02.2026

Принята в публикацию: 06.02.2026

UDC 66.047.3:66.047.085

**Research article**

DOI 10.69539/2413-287X-2026-02-2-261

**GULMAKHMAD KH.  
MIRZOZODA (MIRZOEV)<sup>1</sup>,**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor  
ORCID: 0009-0007-8198-2913  
E-mail: sasonholov@gmail.com

**VALENTIN V.  
DEREVENKO<sup>1</sup>,**

Doctor of Technical Sciences, Professor  
ORCID: : 0009-0002-9546-6198  
E-mail: ekotp@ekotp.ru

**SOFIA E.  
ERMOLOVA<sup>2</sup>,**

Master's student  
ORCID: 0009-0009-7615-0391  
E-mail: sudovikasofia@gmail.com

<sup>1</sup>Technological University of Tajikistan

Tajikistan, Dushanbe,  
Negmata Karabaeva st., 63/3

<sup>2</sup>Kuban State Technological University

350072, Russia, Krasnodar region,  
Krasnodar, st. Moskovskaya, 2

Received by editor office: 01.26.2026

Approved in revised: 02.04.2026

Accepted for publication: 02.06.2026

## ВВЕДЕНИЕ

Технологическая линия переработки семян тыквы, включающая этапы очистки от сорной примеси, сушки, обрушивания, отделения плодовой оболочки, кондиционирования по температуре и влажности с последующим отжимом масла прессовым способом, предназначена для производства деликатесного тыквенного масла и высокобелкового жмыха, который является ценным кормом для животных [1, 2]. К определяющим этапам в технологии подготовки семян тыквы к дальнейшей переработке на высокопротеиновый жмых относится процесс их обезвоживания, который реализуется различными способами энергоподвода [3–6]. Обоснованность применения конвективного способа сушки семян тыквы обусловлена их комплексной переработкой [7], направленной на достижение поставленных технологических целей. Во-первых, после отделения сито-воздушным способом сорной примеси от семян тыквы в процессе обезвоживания сушкой влажность обычно составляет 7–8%, которая создает условия для продолжительного и эффективного хранения семян. Во-вторых, при планировании дальнейшей технологической обработки, в том числе на установках для получения деликатесного масла и кормового высокопротеинового жмыха, необходимо применением сушки добиться оптимальной влажности семян тыквы для обеспечения максимального выхода конечной продукции в процессе ее получения методом прессования на одношнековых или двухшнековых пресс-экструдерах [2, 8]. В-третьих, сушка позволяет снизить влажность семян тыквы, при которой средняя удельная работа их разрушения уменьшается [9], что обеспечивает минимальные энергетические затраты для раскалывания семян ударным воздействием с целью получения как можно больше свободной плодовой оболочки, удаляемой на следующем этапе в устройстве с последовательным сепарированием сначала на ситах, а затем воздушным потоком [10]. Полученную ядровую фракцию семян тыквы с заданным содержанием плодовой оболочки обрабатывают до оптимальных температуры и влажности в кондиционере, после чего отжимают масло в прессе-экструдере.

Проектирование сушильных устройств для семян тыквы как объекта сушки требует достоверных данных и зависимостей для расчета их свойств, на основании которых обосновывают способ обезвоживания и соответствующий метод подвода энергии. При этом режим данного процесса влияет на свойства обрабатываемого материала и качество получаемого продукта. Таким образом, чем точнее будет расчет сушильного устройства, тем совершеннее будет спроектирована его конструкция, тем меньше затрат потребуются на ее создание и эксплуатацию. Важным в расчете конструкции сушильного устройства является увязка его с кинетикой процесса на основании экспериментальных исследований, что позволяет вычислить продолжительность обезвоживания сушкой в первый и второй периоды. В результате можно найти общее время пребывания материала в зоне обработки сушильным агентом.

В расчетах продолжительности сушки капиллярно-пористых материалов, имеющих форму пластины, для первого периода обезвоживания, то есть при постоянной скорости процесса обычно применяют уравнение [3–6, 11]:

$$\tau_1 = K (W_1 - W_2) / N_1, \quad (1)$$

где  $\tau_1$  — продолжительность сушки первого периода, с;  
 $W_1$  — начальное влагосодержание объекта сушки в первом периоде, %;

$W_2$  — конечное влагосодержание объекта сушки в первом периоде, оно соответствует критической точке, где заканчивается механизм испарения свободной влаги, %;

$N_1$  — скорость сушки первого периода, кг/кг·с.

Чтобы применить в расчетах основное уравнение кинетики сушки, требуется иметь полное математическое описание сложных взаимосвязанных явлений внутреннего и внешнего тепломассопереноса данного процесса, которое можно получить решением соответствующей системы дифференциальных уравнений [3–6, 11–15], при этом необходимо найти зависимость коэффициентов переноса от влагосодержания и температуры процесса [4, 11–20]. В аналитическом отношении в целом это сложная задача. А.В. Лыков получил приближенную, но достаточно надежную зависимость, описывающую кривую скорости сушки с минимальным количеством констант, которые можно найти экспериментально [4]:

$$-dW/\tau_1 = K (W - W_p), \quad (2)$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности, который назван А.В. Лыковым коэффициентом сушки, ч<sup>-1</sup>.

После интегрирования уравнения (2) и ряда преобразований получена зависимость для расчета коэффициента сушки [4]:

$$K = 2,3 [\lg(W_1 - W_p) - \lg(W_2 - W_p)] / (\tau_2 - \tau_1). \quad (3)$$

Классическая зависимость расчета продолжительности второго периода убывающей сушки имеет вид [4, 11–15]:

$$\tau_2 = [\ln(W_1 - W_p) - \ln(W_2 - W_p)] / K_2, \quad (4)$$

где  $\tau_2$  — продолжительность сушки второго периода, с;

$W_1, W_2, W_p$  — соответственно влагосодержание начальное, конечное и равновесное для второго периода обезвоживания, %;

$K_2$  — коэффициент сушки второго периода, 1/с, который зависит от режимов процесса и может быть установлен по экспериментальным результатам соответствующих объектов изучения.



Известны многочисленные исследования в этой области и предложен ряд эмпирических зависимостей для определения коэффициента сушки  $K$  [6, 12–15]. Из них можно отметить работы, обобщенные в [6], которые посвящены изучению конвективной сушки маслосодержащего сырья и зерна как наиболее близких материалов к объекту настоящего исследования. В.И. Жидко получил следующее уравнение для определения  $K$  при сушке зерна [6].

$$K = K_k \varphi(W_{1c})(F/G_{\text{сух}})/(1 - \alpha\theta_n), \quad (5)$$

где  $K_k$  — постоянный коэффициент, характеризующий среднюю скорость сушки семян данной культуры по отношению к зерну пшеницы;

$(W_{1c})$  — функциональная зависимость времени сушки от начальной влажности исследуемого материала, определяемая экспериментально;

$\theta_n$  — начальная температура материала, °C;

$\alpha$  — коэффициент, учитывающий изменение времени сушки с изменением начальной температуры семян на 1° C;

$F/G_{\text{сух}}$  — удельная поверхность испарения, численно равная отношению поверхности семян к массе сухого вещества навески семян.

Для расчета  $K$  при конвективной сушке семян подсолнечника, предварительно нагретых с начальной влажностью от 9,8 до 45,5%, предложено уравнение [6]:

$$K = \{[K_k \cdot 0,266(W_1)^{-0,5135}]/[1 - (6,9 - 0,12W_2)]\}(F/G_{\text{сух}}), \quad (6)$$

где  $W_1$  и  $W_2$  — соответственно начальная и конечная влажность семян, %.

Расхождение рассчитанных значений по предложенному уравнению с экспериментальными данными составляет до 6,6%.

На основании изучения процесса конвективной сушки зерна пшеницы (элементарный слой) с начальной влажностью 34% до конечной влажности 15% предложена зависимость [6]:

$$K = 7,1 \cdot 10^{-2} \exp(0,05t_1), \quad (7)$$

где  $t_1$  — температура горячего воздуха, которая изменялась от 50° C до 70° C.

В результате исследования сушки семян хлопчатника конвективным способом и комбинированным энергоподводом СВЧ получено уравнение [6]:

$$K = 0,244 P^{1,45} t^{0,517} W_1^{0,302} \cdot 10^{-0,13D}, \quad (8)$$

где  $P$  — выходная мощность СВЧ-генератора;

$D$  — опушенность хлопковых семян в интервале от 4,7 до 12,3%.

Для сушки мезги семян подсолнечника в процессе влаготепловой обработки для расчета  $K$  получено уравнение [21]:

$$K = 2,3[\lg(W_1/W_2)]/\tau_2, \quad (9)$$

Таким образом, для каждого объекта сушки получены конкретные эмпирические зависимости для расчета коэффициента сушки.

Для определения коэффициента поверхностной массотдачи  $\beta$  обычно используют основное уравнение массопереноса, согласно которому за бесконечно малый промежуток времени  $dt$  через поверхность испарения объекта сушки, которая условно соответствует его геометрической поверхности  $S$ , в сушильном аппарате испаряется влага в количестве [11, 14]:

$$dW = \beta S(W_1 - W_2)dt. \quad (10)$$

Для конвективной сушки зернистых материалов расчет  $\beta$  предложен [22] проводить по следующему критериальному уравнению:

$$Nu_d = 0,106 Re^{0,964} Pr^{0,33}, \quad (11)$$

где  $Re$  — критерий Рейнольдса, характеризующий аэродинамические условия испарения;

$Pr = \nu/D$  — диффузионный критерий Прандтля, учитывающий физические свойства среды и испаряемой влаги.

Многочисленные экспериментальные данные исследований по массообмену приведены в работе [12] и обобщены уравнением, которое рекомендуется в инженерных расчетах конвективных сушилок:

$$Nu_d = 2 + 0,51 Re^{0,52} Pr_d^{0,33}. \quad (12)$$

Подобные исследования по конвективной сушке различных материалов представлены в многочисленных работах [23–29], в которых получены критериальные зависимости, справедливые в расчетах только для изученных зерновых объектов.

Цель работы — исследования кинетики конвективной сушки семян тыквы и получение уравнений для расчета  $K$  и  $\beta$ , необходимых при проектировании сушильных устройств.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Особенности процесса кинетики обезвоживания конвективной сушкой изучали на семенах тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая», выращенной в Таджикистане.

Исследования выполняли по общепринятой методике [6] на лабораторной установке, хорошо зарекомендовавшей себя при сушке растительного сырья [30, 31], с фиксацией времени (по секундомеру) изменения массы объекта сушки, параметров сушильного агента, температуры мокрого и сухого термометров. Сушильным агентом служил горячий воздух, скорость которого составляла 6,0 м/с, 8,5 м/с и 11 м/с. Фиксировалась температура воздуха (60°C, 70°C и 80°C) для каждого значения его заданной скорости и при относительной влажности воздуха 40%. Статистическим методом проведено исследование линейных размеров семян тыквы [32], значения которых необходимы в расчетах критериальных уравнений.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты по кинетике обезвоживания конвективной сушкой семян тыквы изученных сортов представлены в виде кривых сушки на рисунках 2–4 и кривых скорости сушки на рисунках 5–10. Из данных рисунков 2–4 видно, что темп сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» несколько различается при температуре воздуха 60°C и 70°C, а при температуре 80°C различия менее заметны. Очевидно, это связано со структурными свойствами плодовой оболочки, которые влияют на форму связи влаги с ней, что и будет показано далее.

На рисунках 5–10 кривые имеют классические периоды обезвоживания, включающие постоянную и убывающую скорости сушки, в которых удаляется соответственно свободная и связанная влага [4, 6]. Так как скорость сушки семян тыквы постоянна в первом периоде, то происходит испарение свободной влаги, сосредоточенной на поверхности плодовой оболочки объекта сушки, и зависит от параметров сушильного агента, в первую очередь от его температуры и скорости. Следует отметить, что при равных условиях обезвоживания в первом периоде скорость сушки семян тыквы сорта «Гитара» заметно больше, чем семян тыквы сорта «Зимняя сладкая». С одной стороны, это связано с их различными геометрическими размерами: у первых средневзвешенная толщина семянки в 1,69 раза меньше, чем у вторых, а длина — в 1,37 раза.



Рис. 1. Семянки тыквы сорта «Гитара» (слева) и сорта «Зимняя сладкая» (справа) и их поперечные разрезы

Отличаются семянки тыквы и по толщине плодовой оболочки (рис. 1), что, безусловно, влияет на испарение свободной влаги из ее капиллярно-пористой структуры. Известно также [4, 26], что с повышением и скорости, и температуры воздуха увеличивается скорость сушки капиллярно-пористых тел.

Как видно из рисунков 5–10, во втором периоде кривая скорости сушки носит убывающий характер, поскольку

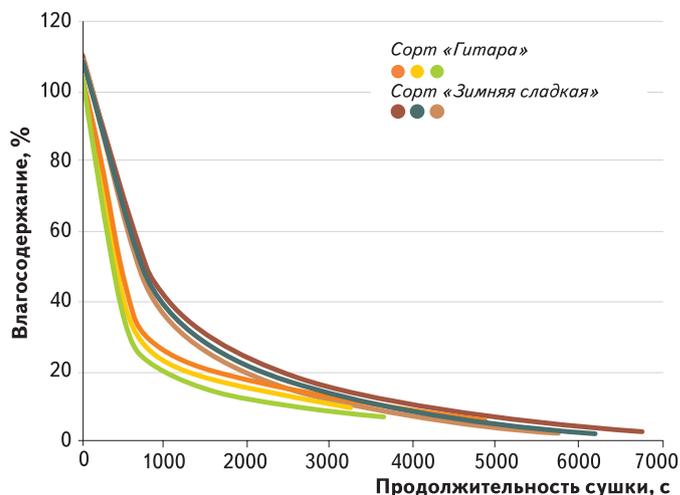


Рис. 2. Кривые сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при скорости воздуха 6; 8,5; 11 м/с и температуре 60°C

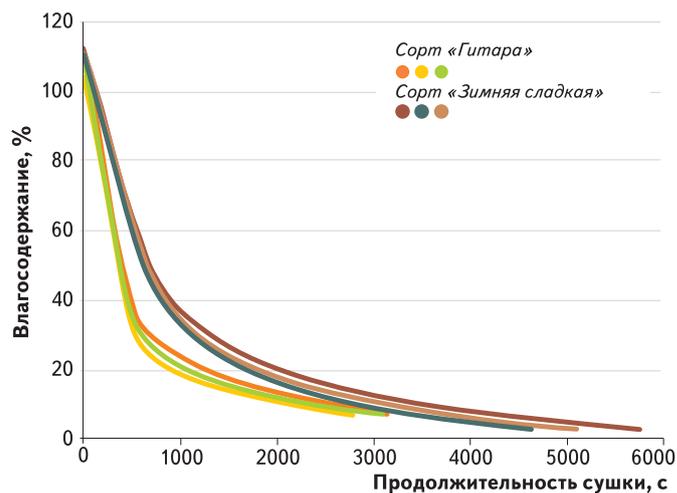


Рис. 3. Кривые сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при скорости воздуха 6; 8,5; 11 м/с и температуре 70°C

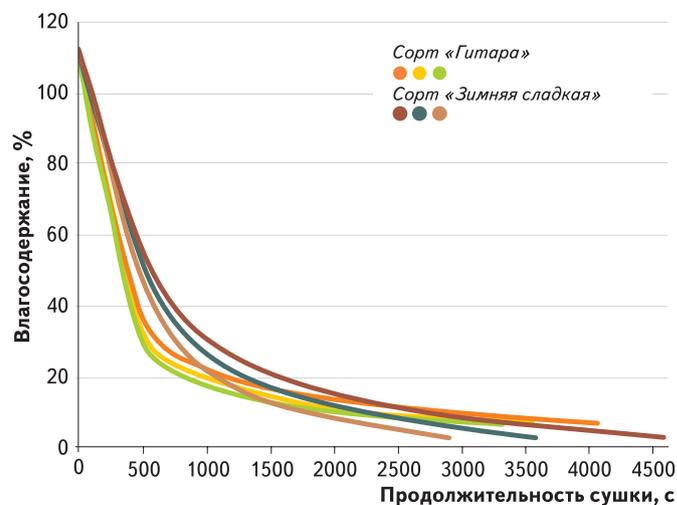


Рис. 4. Кривые сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при скорости воздуха 6; 8,5; 11 м/с и температуре 80°C

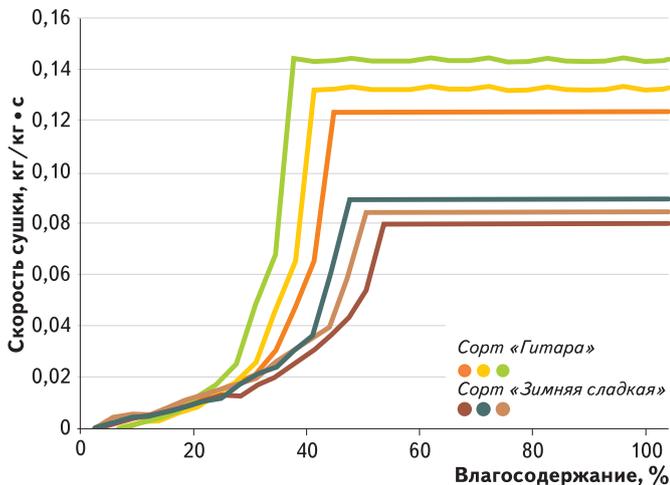


Рис. 5. Кривые скорости сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при скорости воздуха 6; 8,5; 11 м/с и температуре 60°C

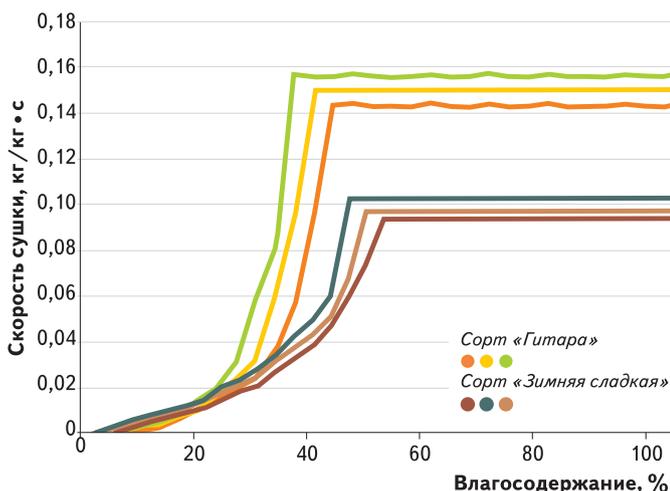


Рис. 6. Кривые скорости сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при скорости воздуха 6; 8,5; 11 м/с и температуре 70°C

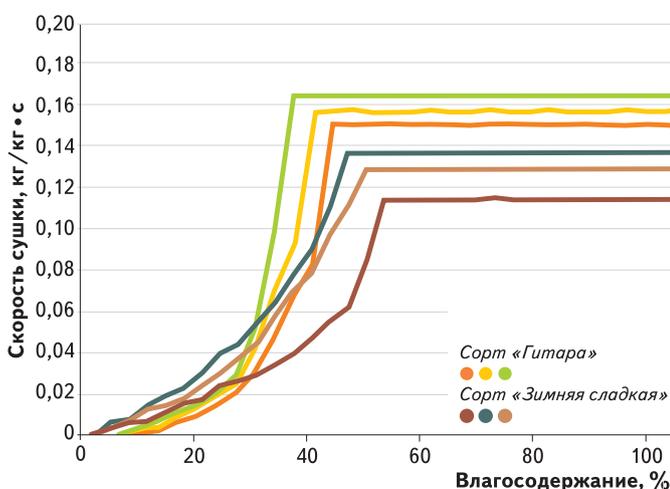


Рис. 7. Кривые скорости сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при скорости воздуха 6; 8,5; 11 м/с и температуре 80°C

изменился механизм удаления влаги, что характерно для процесса удаления связанной влаги, имеющей различные физико-химические формы связей с семенами тыквы, которые следует рассматривать как многослойное тело, состоящее из ядра и плодовой оболочки. В свою очередь, плодовая оболочка состоит из наружного слоя тонкопалисадных клеток, затем находится губчатый слой и склеренхимный твердый слой [2].

Характер изменения кривых скорости обезвоживания во втором периоде аналогичен для семян тыквы обоих сортов, и согласно классификации А.В. Лыкова [4] можно сделать вывод, что они относятся к капиллярно-пористым объектам сушки.

В таблице представлены значения критической влажности  $W_{кр}$  для изученных сортов семян тыквы. С увеличением скорости воздуха от 6 до 11 м/с, при его постоянной температуре, заметно изменяется значение критического влагосодержания. При этом температура воздуха в изученном интервале не влияет на значение  $W_{кр}$ , что можно объяснить следующим образом. Учитывая, что семена тыквы являются многослойными капиллярно-пористыми объектами сушки, влага в подобных материалах испаряется, как известно, только с поверхности менисков жидкости [4, 11], которая сосредоточена в порах и капиллярах с непрерывно изменяющейся ее конфигурацией в процессе обезвоживания. Очевидно, что скорость воздуха в изученных интервалах при постоянной температуре в большей степени влияет на объемно-структурные изменения пор и капилляров в верхнем слое плодовой оболочки семян тыквы, высвобождая, по всей видимости, новые участки со свободной влагой, что и приводит к уменьшению значений  $W_{кр}$ .

#### Значения критической влажности ( $W_{кр}$ ) семян тыквы, %

| Скорость воздуха, м/с | Сорт «Гитара»   |       |       | Сорт «Зимняя сладкая» |       |       |
|-----------------------|-----------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
|                       | Температура, °C |       |       |                       |       |       |
|                       | 60              | 70    | 80    | 60                    | 70    | 80    |
| 6                     | 41,16           | 41,16 | 41,16 | 50,45                 | 50,45 | 50,45 |
| 8,5                   | 37,72           | 37,72 | 37,72 | 47,25                 | 47,25 | 47,25 |
| 11                    | 34,27           | 34,27 | 34,27 | 44,05                 | 44,05 | 44,05 |

Следует отметить, что  $W_{кр}$  при постоянной скорости воздуха в изученном интервале практически не изменяется в изученном интервале температур. Аналогичная картина наблюдалась при сушке кожи в интервале температур 30–50 °C [4].

На основании экспериментальных результатов, обработанных методом наименьших квадратов, получены эмпирические уравнения для расчета  $N_1$ , которые рекомендуется использовать при нахождении продолжительности сушки семян тыквы первого периода по уравнению (1) соответственно для сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая»:

$$N_1 = (40,67 + 18,6t + 30,87U)10^{-4} \quad (13)$$

$$N_1 = 1/(25 - 0,193t - 0,17U), \quad (14)$$

где  $t$  — температура воздуха, °C;

$U$  — скорость горячего воздуха, м/с.

Для определения  $K_2$  рекомендуется использовать эмпирические зависимости, полученные на основании экспериментальных данных кинетики обезвоживания семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая», соответственно:

$$K_2 = (0,315 + 0,00475t + 0,0312U + 0,0009tU)10^{-3} \quad (15)$$

$$K_2 = (0,142 + 0,0013t + 0,020U + 0,0009tU)10^{-3}. \quad (16)$$

Для расчета  $\beta$  получены критериальные уравнения для первого и второго периодов конвективной сушки семян тыквы:

$$Nu_d = 1 + 0,673 \cdot Re^{0,24} \cdot Pr^{0,77} \cdot Gu^{0,2} \quad (17)$$

$$Nu_d = 1 + 0,118 \cdot Re^{0,322} \cdot Pr^{0,333} \cdot Gu^{0,175} \quad (18)$$

$$Nu_d = 0,19 \cdot Re^{0,41} \quad (19)$$

$$Nu_d = 3 + 0,2874 \cdot Re^{0,408} \cdot Pr^{0,333} \cdot Gu^{0,175}, \quad (20)$$

где  $Nu_d$  — диффузионный критерий Нуссельта;

$Nu = \beta h / D$ ;

$Gu$  — критерий Гухмана;

$\nu$  — кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с;

$h$  — средневзвешенное значение толщины семян, мм;

$D$  — коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с, который вычисляется по формуле:

$$D = D_0 \frac{\rho_0}{\rho} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1,5},$$

где  $D_0$  — коэффициент диффузии испаряемой влаги в воздухе ( $D_0 = 2,19 \cdot 10^{-5}$  при  $T_0 = 273$  K).

Ошибка аппроксимации критериальных уравнений (17, 18, 19, 20) не превышает соответственно 5,7; 10; 4,5 и 7,9% для чисел Рейнольдса от 4000 до 11 000, то есть уравнения пригодны для инженерной практики.

## ВЫВОДЫ

Изучена кинетика сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая». По экспериментальным данным построены кривые сушки и скорости сушки в зависимости от температуры и скорости воздуха в изученном интервале. Показано, что семена тыквы относятся к капиллярно-пористым объектам сушки. Установлено, что скорость сушки семян тыквы сорта «Гитара» заметно больше, чем скорость сушки семян сорта «Зимняя сладкая», что связано со структурными свойствами плодовой оболочки и ее толщиной. Получены эмпирические уравнения для расчета скорости сушки и коэффициенты сушки в зависимости от скорости и температуры горячего воздуха в изучен-

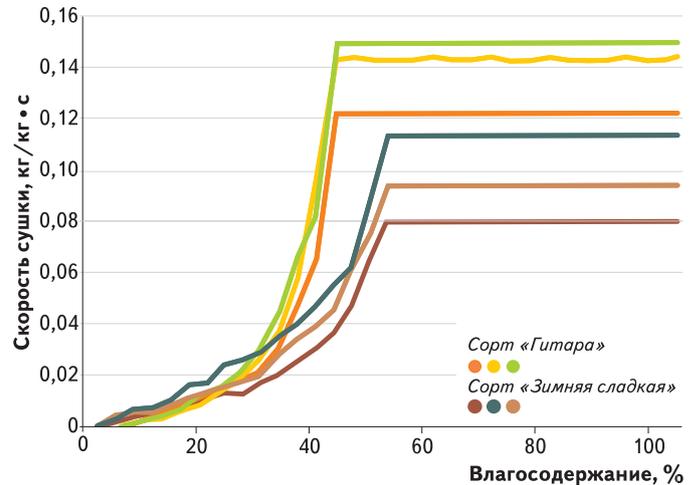


Рис. 8. Кривые скорости сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при температуре воздуха 60°C, 70°C, 80°C и скорости 6 м/с

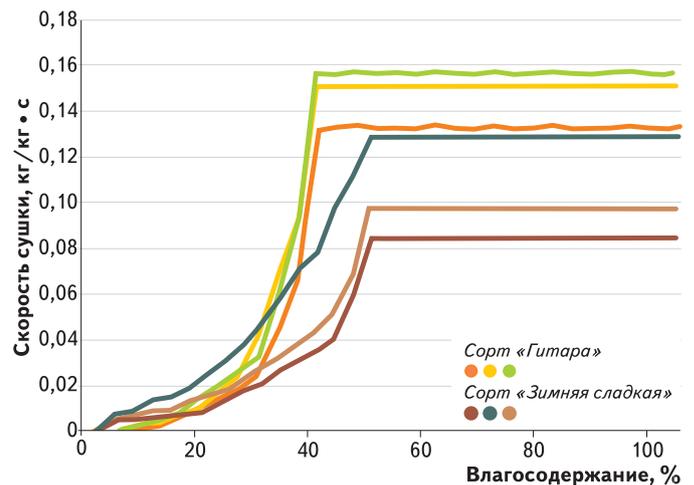


Рис. 9. Кривые скорости сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при температуре воздуха 60°C, 70°C, 80°C и скорости 8,5 м/с

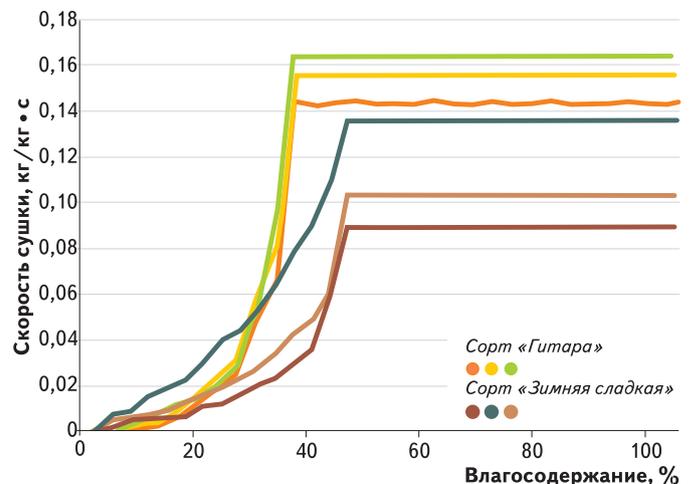


Рис. 10. Кривые скорости сушки семян тыквы сортов «Гитара» и «Зимняя сладкая» при температуре воздуха 60°C, 70°C, 80°C и скорости 11 м/с

ных интервалах — соответственно в первом и во втором периодах обезвоживания. Предложены критериальные уравнения, из которых можно определить коэффициенты

массоотдачи. Результаты позволяют вычислить геометрические размеры сушильной установки при заданной производительности и целевых параметрах процесса.

#### Литература/Literature

1. *korma-anilyn.ru product/tykven.*
2. Касьянов, Г. И. Технология переработки плодов и семян бахчевых культур / Г. И. Касьянов, В. В. Деревенко, Е. П. Франко // Краснодар : Экоинвест, 2010. — 148 с.
3. Арапов, В. М. Процесс конвективной сушки дисперсных пищевых продуктов. Теоретические основы пищевых технологий. Кн. 2. / В. М. Арапов // М.: КолосС, 2009. — С. 686–721.
4. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков // М.: Энергия, 1968. — 470 с.
5. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности / М. В. Лыков // М.: Химия, 1970. — 432 с.
6. Гинзбург, А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / А. С. Гинзбург // М.: Агропромиздат, 1985. — 336 с.
7. Деревенко, В. В. Комплексная переработка семян голосеменной тыквы / В. В. Деревенко, А. А. Романенко // Масла и жиры. — 2008. — №4. — с.22–23.
8. Патент на полезную модель 18711 РФ, МПК С11В 1/10. Двухчервячный пресс-экструдер для отжима масла из масличного материала / В. В. Деревенко // БИПМ. 10.07.2001.
9. Мирзоев, Г. Х. Анализ физико-механических свойств семян бахчевых, важных при их подготовке к получению масла и жмыха / Г. Х. Мирзоев // Научные труды КубГТУ, 2019. — № 2. — С. 170–180.
10. Патент № 2397027 РФ, МПК С11В 1/10. Пневмосепаратор для отделения аэроносимых частиц / В. В. Деревенко, Г. А. Глуценко // БИПМ. 20.08.2010.
11. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии : Учебник для вузов. Ч. 2. Массообменные процессы. / Ю. И. Дытнерский // М.: Химия, 2002. — 368 с.
12. Романков, П. Г. Сушка во взвешенном состоянии / Романков П. Г., Рашковская Н. Б. // Л.: Химия, 1979. — 272 с.
13. Фелоненко, Г. К. Сушка пищевых растительных материалов / Г. К. Фелоненко, М. А. Гришин, Я. М. Гольденберг, В. К. Косек // М.: Пищевая промышленность, 1971. — 438 с.
14. Плановский, А. Н. Сушка дисперсных материалов в химической промышленности / А. Н. Плановский, В. И. Муштаев, В. М. Ульянов // М.: Химия, 1979. — 288 с.
15. Рудобашт, С. П. Массоперенос в системах с твердой фазой / С. П. Рудобашт // М.: Химия, 1980. — 248 с.
16. Подгорный, С. А. Математическое моделирование процессов сушки и кондиционирования зерна. Потенциалы массопереноса : монография / С. А. Подгорный, Е. П. Кошевой В. С. Косачёв // Saarbrücken: Изд-во LAP LAMBERT, 2012. — 136 с. — ISBN: 978-3-659-24821-4.
17. Нугманов, А. Х. Х. Исследование физико-химических характеристик биополимерного геля как объекта сушки / А. Х. Х. Нугманов, М. А. Никулина, И. Ю. Алексанян, А. И. Алексанян // Современная наука и инновации. — 2018. — №1(21). — С. 79–87. — EDN XUBPGX.
18. Нугманова, А. А. Обоснование рационального метода сушки гранул в кипящем слое и гидродинамического режима их взаимодействия с оживающим агентом / А. А. Нугманова, И. Ю. Алексанян, А. Х. Х. Нугманов [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. — 2021. — Т. 24, №3. — С. 287–298. — DOI 10.21443/1560-9278-2021-24-3-287-298. — EDN ZYIWTK.
19. Алексанян, И. Ю. Моделирование процесса сушки дисперсного материала в кипящем слое / И. Ю. Алексанян, Л. М. Титова, А. Х. Х. Нугманов // Техника и технология пищевых производств. — 2014. — №3(34). — С. 96–102. — EDN QRILYK.
20. Подгорный, С. А. Постановка задачи описания переноса тепла, массы и давления при сушке / С. А. Подгорный, Е. П. Кошевой, В. С. Косачёв, А. А. Схалыхов // Новые технологии. 2014. — №3. — С. 20–27.
21. Масликов, В. А. Технологическое оборудование производства растительных масел / В. А. Масликов // М.: Пищевая промышленность, 1974. — 440 с.
22. Протасов, С. К. Исследование массоотдачи в конвективной сушилке / С. К. Протасов, А. А. Боровик, А. И. Вилькоцкий, Н. П. Матвиенко // Химическая промышленность. — 2015. — т. 92, №5. — с. 243–246.
23. Байтурев, А. М. Математическое моделирование и получение критериального уравнения процессов сушки сыпучих и зернистых материалов в сушильном барабане со смешанным режимом термообработки / А. М. Байтурев // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 12. — с. 134–136.
24. Грачева, Н. Н. Критериальное уравнение сушки зерна активным вентилированием электроактивированным воздухом / Н. Н. Грачева, Д. Н. Васильев, Д. А. Будников // Научный журнал КубГАУ. — 2011. — №73(09). — с. 1–9.
25. Протасов, С. К. Исследование кинетики сушки зерновых культур / С. К. Протасов, Н. П. Матвиенко, А. А. Боровик // Мичуринский агрономический вестник. — 2017. — №2. — с. 153–162.
26. Протасов, С. К. Определение скорости сушки дисперсных материалов / С. К. Протасов, А. А. Боровик, Н. П. Матвиенко // Химическая промышленность. — 2017. — №3. — с. 151–154.
27. Дворецкий, С. И. Исследование кинетики сушки зерновых культур / С. И. Дворецкий, В. М. Дмитриев, Г. С. Кормильцин, С. И. Пестрецов, А. А. Ермаков // Вестник ТГТУ. — 2002. — т. 8, № 2. — с. 228–239.
28. Протасов, С. К. Кинетика сушки капиллярно-пористых дисперсных материалов / С. К. Протасов, Н. П. Матвиенко, А. А. Боровик // Химическая промышленность. — 2018. — т. 95, №5. — с. 249–252.
29. Шахов, С. В. Моделирование процесса сушки семян киноа в барабанной сушилке с канальной насадкой / С. В. Шахов, С. В. Роднищев, Д. В. Дмитриев, А. В. Жучков, И. А. Глотова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». — 2025. — №4. — с. 3–16.
30. Деревенко, В. В. Кинетика конвективной сушки выжимки винограда сорта Шираз / В. В. Деревенко, А. В. Сидоренко, В. А. Ковалев, Н. Г. Володько // Известия Вузов. Пищевая технология. — 2011. — №2–3. — С. 74–75.
31. Деревенко, В. В. Закономерности конвективной сушки выжимки белого винограда / В. В. Деревенко, А. В. Сидоренко, В. А. Ковалев, Н. Г. Володько // Известия Вузов. Пищевая технология. — 2011. — № 4. — С. 88–89.
32. Деревенко, В. В. Основные физико-механические свойства семян тыквы, выращенной в Таджикистане / В. В. Деревенко, Г. Х. Мирзоев, А. А. Лобанов [и др.] // Известия Вузов. Пищевая технология. — 2012. — №4. — С. 120. ■