



# Bug'doy donini quritish ob'ekti sifatida quritish usulini tanlash

Yayra D. Muxiddinova

PhD, dots, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; [yayra.muhiddinova@mail.ru](mailto:yayra.muhiddinova@mail.ru)  
<https://orcid.org/0000-0003-1983-4753>

**Dolzarbli:** maqlolada bug'doyni issiqlik-texnologik qayta ishslash ob'ekti sifatida quritishning oqilona usulini aniqlashning dolzarb vazifasi ko'rsatilgan, bu eng istiqbolli usulni tanlashni ilmiy asoslash imkonini beradi, shuningdek quritish apparatining oqilona tuzilishi.

**Maqsad:** donning minimal zararlanishini ta'minlaydigan takomillashtirilgan donni quritish texnologiyasini tanlash, issiqlik energiyasini minimal iste'mol qilgan holda donning fiziologik pishishi va sifatini yaxshilash imkonini beradigan to'g'ri quritish rejimining kafolati.

**Usullar:** ratsional quritish usulini tanlash uchun bug'doy donini issiqlik-texnologik qayta ishslash uchun turli xil usullar va uskunalar turlarini o'rganish kerak; Barcha holatlarda quyidagi shartlarga rioya qilish kerak: mahsulotni quritish jarayonida bir tekis qizdirilishi kerak, yonib ketmasligi va ma'lum joylarda qizib ketmasligi kerak. Bunday holda, don quritgichlarda jarayonlarning maksimal harorati uchun belgilangan me'yorlarni saqlash kerak: urug'lik donini quritish — 43-45°C; oziq-ovqat va ozuqa donlari — 53-55°C.

**Natijalar:** jarayonning issiqlik muhandislik tamoyillarini hisobga olgan holda va bug'doy donini quritishdagi turli cheklolvlarini hisobga olgan holda, quritish birligi sifatida suyuq qatlamlari apparat tanlangan. Ushbu dizayndagi donni quritgichda quritish xom ashyoni mukammal sifatga etkazish imkonini beradi.

**Kalit so'zlar:** quritish, suyuq qatlamlar, ratsional usul, bug'doy donalari, issiqlik-texnologik qayta ishslash ob'ekti, quritish apparati.

## Выбор способа сушки пшеничного зерна как объекта сушки

Яйра Д. Мухиддинова

PhD, доц., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; [yayra.muhiddinova@mail.ru](mailto:yayra.muhiddinova@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-1983-4753>

**Актуальность:** в статье представлена актуальная задача определения рационального способа сушки пшеницы, как объекта тепло-технологической переработки, что позволит научно обосновать выбор наиболее перспективного способа, а также рациональную структуру конструкции сушильного аппарата.

**Цель:** выбор улучшенной технология сушки зерна, обеспечивающей минимальное его травмирование, гарантию правильного режима сушки, который позволит получить физиологическое дозревание и улучшение качества зерна, при минимальном расходе тепловой энергии.

**Методы:** для выбора рационального способа сушки требуется исследовать различные методы и виды оборудования тепло-технологической переработки зерна пшеницы; при этом во всех случаях необходимо соблюдать условия: продукт должен прогреваться равномерно в процессе сушки, не пригорать и не перегреваться в отдельных местах. При этом необходимо выдерживать установленных норм максимальных температур процессов в зерносушилках: сушка семенного зерна — 43-45°C; продовольственного и фуражного зерна — 53-55°C.

**Результаты:** учитывая теплотехнические принципы процесса, и принимая во внимание ограничения различного характера при сушке пшеничного зерна, был выбран аппарат с псевдоожиженным слоем в качестве сушильного агрегата. Сушка в зерносушилке такой конструкции позволяет довести сырую продукцию до отменного качества.

**Ключевые слова:** сушка, псевдоожиженный слой, рациональный способ, зерна пшеницы, объект тепло-технологической переработки, сушильный аппарат.

## Choice of drying method of wheat grain as an object of drying

Yayra D. Mukhiddinova

PhD, dots., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; [yayra.muhiddinova@mail.ru](mailto:yayra.muhiddinova@mail.ru) <https://orcid.org/0000-0003-1983-4753>

**Relevance:** relevance: the article presents the urgent task of determining a rational method of drying wheat as an object of heat-technological processing, which will allow scientifically substantiating the choice of the most promising method, as well as the rational structure of the drying apparatus.

**The goal:** objective: selection of an improved grain drying technology that ensures minimal damage to it, a guarantee of the correct drying mode, which will allow physiological ripening and improvement of grain quality, with minimal consumption of thermal energy.

**Methods:** to select a rational drying method, it is necessary to study various methods and types of equipment for heat-technological processing of wheat grain; in all cases, it is necessary to comply with the following conditions: the product must be heated uniformly during the drying process, not burn or overheat in certain places. At the same time, it is



necessary to maintain the established standards of maximum temperatures of processes in grain dryers: drying of seed grain – 43-45°C; food and fodder grain – 53-55°C.

**Results:** considering the heat engineering principles of the process and taking into account the limitations of various nature when drying wheat grain, a fluidized layer device was selected as a drying unit. Drying in a grain dryer of this design allows bringing raw products to excellent quality.

**Keywords:** drying, fluidized layer, rational method, wheat grains, heat-technological processing object, drying device.

## 1. Введение (Introduction)

После сбора посевного продукта (пшеницы, бобовых, крупяных или масличных культур) необходимо снять с него излишок влажности. Важно, чтобы технология сушки зерна обеспечивала минимальный расход топлива, минимальное травмирование (бой) зерна, а также гарантировала правильный режим сушки, который позволит получить физиологическое дозревание и улучшение качества зерна. Сушка зерна – это важный завершающий обработку зерна технологический этап, при котором сырьё доводится до кондиционной влажности. Влажность зерна после сушки обычно составляет 14%.

Каждое зерно любит свои тепловые режимы, типы зерна имеют разные размеры, пожароопасность, абразивность, каждое топливо также имеет свои особенности. Определённая технология сушки зерна хорошо работает для одних культур, но плохо для других, поэтому необходима технология с правильным балансом плюсов и минусов.

Благодаря качественному процессу снижения влажности зерновой культуры (сушке) мы обеспечиваем длительное хранение зерна и поддерживаем её начальное качество и класс. Процесс сушки зерна предполагает, что понижение влажности продукта должно проходить плавно, постепенно от центра каждого зёренка к периферии. Сушка зерна и температура нагрева зерновой массы должна контролироваться датчиками, так как даже незначительное повышение температуры может привести к обгоранию оболочки зёрен.

Конструкция зерносушилок признана более продуктивной и экономичной, если она работает на смеси топочных газов с воздухом: при этом КПД топки становится выше, а расход топлива снижается. Такие топки прямого действия необходимо тщательно контролировать при эксплуатации: важно предупредить попадание искр из топки в сушильную камеру.

Во всех без исключения зерносушилках должно работать условие: продукт должен прогреваться равномерно в процессе сушки, не пригорать и не перегреваться в отдельных местах. Нормативами установлена максимальная температура сушки зерна в зерносушилках:

- сушка семенного зерна – 43-45°C;
- продовольственного и фуражного зерна – 53-55°C.

## 2. Материалы и методы (Methods and materials)

Для выбора методики рационального способа сушки в первую очередь требуется исследовать зерна пшеницы [1,6,7], как объект тепло-технологической переработки, что позволит научно обосновать выбор наиболее перспективного способа и рациональную структуру конструкции сушильного аппарата. Тепловые свойства зерна определяются его теплофизическими характеристиками: удельная теплоемкость  $C$ , теплопроводность  $\lambda$ , температуропроводность  $\alpha$ . Знание их необходимо для выполнения расчетов процессов нагрева, сушки и охлаждения зерна.

Теплофизические характеристики зерна оказывают влияние на протекание тепловых процессов. Они определяют развитие процессов переноса и накопления тепла в различных участках зернового слоя. От численного соотношения этих двух процессов зависят скорость изменения температуры и теплового потока на каждом участке зернового слоя, скорость распространения температурной волны, глубина проникания тепловой зоны, затраты теплоты на нагрев зерна и т.д.

Процесс переноса тепла определяется теплопроводностью  $\lambda$ , накопление тепла - объемной теплопроводностью ( $\sigma p$ ). Их совокупное влияние на общий процесс учитывается коэффициентом температуропроводности  $\alpha = \lambda / \sigma p$  [ $m^2/s$ ], который характеризует способность зерна пропускать температурную волну;  $c$  – удельная (по массе) теплопроводность, Дж/кгК;  $\rho$  – плотность зерна, кг/ $m^3$ .

Теплофизические характеристики единичного зерна зависят от его влажности и температуры, а характеристики зернового слоя, кроме того, от формы и размера зерен, плотности их укладки.

Удельная теплоемкость единичных зерновок и зернового слоя практически одинакова, поскольку масса воздуха в межзерновом пространстве слоя пренебрежительно мала, по



сравнению с массой зерна. Удельная теплоемкость зерна зависит от его влажности и температуры. С увеличением влажности удельная теплоемкость зерна возрастает.

Удельная теплоемкость сухого вещества зерна составляет 1,55 кДж/(кгк) или (0,37 ккал/(кг×град); удельная теплоемкость воды - 4,19 кДж/(кгк) или 1 ккал/(кгград).

Теплопроводность единичного зерна и зерновой массы существенно различны. Если теплопроводность единичного зерна составляет около 0,3 Вт/(мК), то теплопроводность зернового слоя в 2,5-3 раза ниже. Низкая теплопроводность зернового слоя соизмерима с теплопроводностью теплоизоляционных материалов. Вследствие плохой теплопроводности теплота в зерновой массе задерживается, в основном в тонком слое, непосредственно контактирующем с горячими поверхностями сушилки. Зерно в этом слое может быстро перегреться, а его качество ухудшиться.

Теплопроводность зернового слоя с повышением влажности зерна вначале увеличивается, а затем снижается. Режимы сушки пшеничного зерна зависят от их начальной влажности, и они регламентируются инструкцией по сушке. Высшие предельные значения температуры сушки, нагрева пшеничного зерна при различных способах сушки в шахтных, прямоточных и барабанных сушилках приведены в табл.1 [4].

**Таблица 1.** Высшие предельные значения температуры сушки, нагрева при различных способах сушки в шахтных, прямоточных и барабанных сушилках

**Table 1.** The highest limit values of drying and heating temperatures for various drying methods in shaft, direct-flow and drum dryers

Начальная влажность зерна, %	Пропуск зерен через сушилку	Нагрев зерен	Предельные температуры сушильного агента		
			Одноступенчатая шахтная с.у.	Двухступенчатая шахтная с.у.	Барабанная сушка
До 15	1	55	120	120	250
До 20	2	55	115	115	350
Более 20	2	55	110	110	350

При сушке пшеничного зерна важное значение имеет равновесие влажности зерен. Значение этого параметра необходимо для определения, до какого конечного влагосодержания необходимо высушить зерна.

**Таблица 2.** Физико-химические свойства пшеничного зерна  
**Table 2.** Physico-chemical properties of wheat grain

№	Свойство	Ед.изм	Значение
1	Абсолютная масса зерен	г	40...98,1
2	Относительная плотность зерен	г/см <sup>3</sup>	0,651...0,827
3	Масса 1 м <sup>3</sup> зерен	кг	330...470
4	Объем 1 т зерен	м <sup>3</sup>	2,1...3,1
5	Истинный объем 1 т зерен	м <sup>3</sup>	1,2...1,5
6	Скорость витания	м/с	3,2...8,9
7	Угол естественного откоса	град	31...45
8	Теплоемкость	кДж/кг·К	1,51
9	Теплопроводность	Вт/м °C	0,2...0,6
10	Температуропроводимость	м <sup>2</sup> /ч	6,15...6,85·10 <sup>-4</sup>

В настоящее время пшеницу сушат в шахтных, рециркуляционных зерносушилках и в сушилках барабанного типа [2,4]. Основными недостатками этих сушилок являются: неравномерность сушки, большое время процесса сушки и неравномерный нагрев пшеничного зерна. Все это может приводить к нарушению биохимического состава ядер зерен. Для исключения вышеуказанных явлений были исследованы технологические, физико-химические, теплофизические, термографические, сорбционно-структурные свойства пшеничного зерна, формы, виды связи влаги с материалом и формы частиц [5]. В табл.2 приведены физико-химические свойства пшеничного зерна.

### 3. Результаты (Results)

На основании полученных данных об основных свойствах пшеничного зерна как объекта тепло-технологической обработки, выбираем его в качестве модельного материала. Согласно известной классификации [8], он является типичным представителем группы зерновых материалов. Кроме того, свойства пшеничного зерна во многом совпадают с модельным материалом.



Пользуясь сорбционными и другими свойствами пшеницы и по известной методике, описанной в работе [3] строим расчетную обобщенную кривую сушки исследуемого материала в координатах  $(U, N\tau)$  (где  $N\tau$  - максимальная скорость сушки), и сравниваем ее с обобщенной кривой сушки, полученной экспериментальным путем (рис. 1).

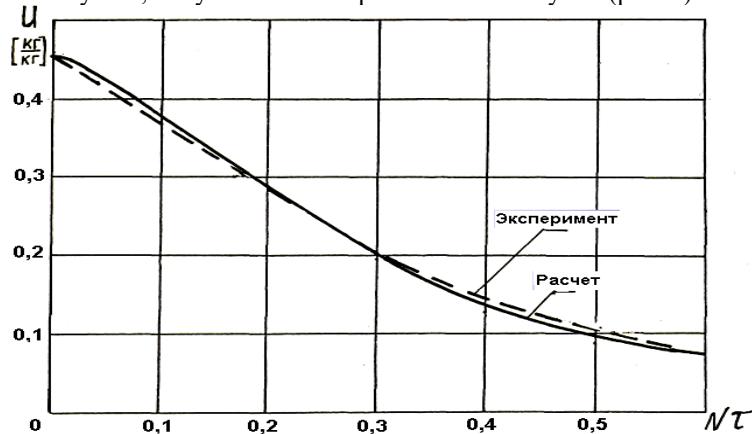


Рис.1. Обобщенные кривые сушки для пшеничного зерна  
Fig. 1. Generalized drying curves for wheat grain

Для теоретического обоснования метода интенсификации процесса сушки использованием кипящего слоя был выявлен механизм связи влаги пшеничного зерна, который определяется тепломассопереносом в процессе сушки.

Полученная дериватограмма нагрева пшеничного зерна позволила обосновать допустимую температуру нагрева материала [3] (дериватография — метод исследования химических и физико-химических процессов, происходящих веществе в условиях изменения температурного режима). На основе полученных экспериментальных изотерм сорбции-десорбции пшеничного зерна произведена классификация материала по коллоидным физическим свойствам, а также рассчитаны дифференциальные и интегральные функции распределения пор по радиусам. На основе сорбционных данных рассчитаны: номограмма для определения энергии связи влаги пшеничного зерна, удельный объем микропор, удельная поверхность и чистая теплота десорбции монослоя. По величине максимального гигроскопического влагосодержания пшеничного зерна оценен предельный сорбционный объем «по воде».

#### 4. Обсуждение (Discussion)

На основании комплексного анализа свойств пшеничного зерна как объекта тепло-технологической обработки по значению максимального гигроскопического влагосодержания по классификационной таблице профессора Мухиддина Д.Н. [8], выбран сушильный аппарат псевдоожиженного слоя.

Как видно из рис.1, экспериментальная и расчетная обобщенные кривые сушки практически совпадают, и для конечной требуемой влажности пшеничного зерна параметр  $N\tau < 1$ .

В соответствии с известной классификационной таблицей [9] выбирается способ сушки пшеничного зерна в аппарате псевдоожиженного слоя.

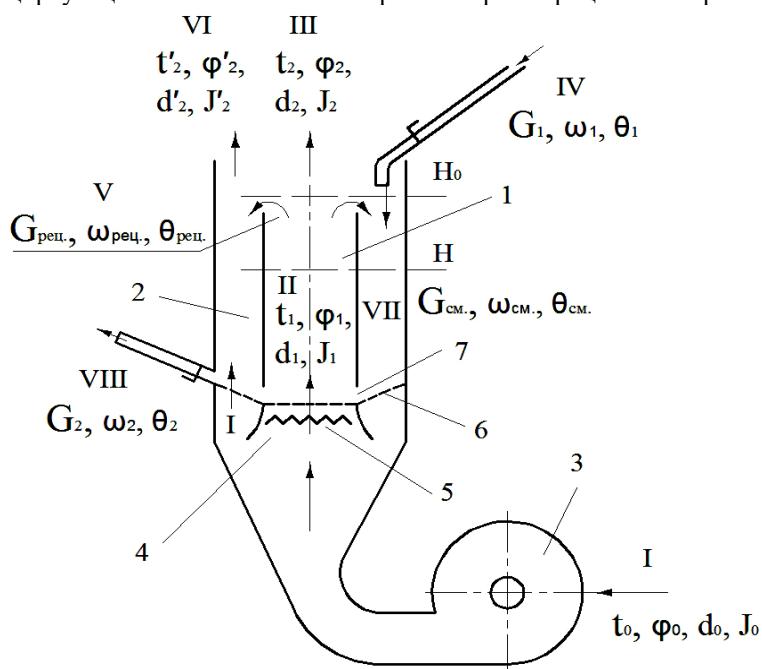
Учитывая теплотехнические принципы оформления процесса сушки, и принимая во внимание ограничения технологического характера (пшеничного зерна). Выбор остановлен на конкретной структуре аппарата в классе аппаратов псевдоожиженного слоя, который посредством конструктивных изменений можно превратить в сушильный агрегат.

Технологический процесс сушки зернового слоя в рециркуляционной зерносушилке основан на псевдоожижении и осуществляется следующим образом.

Влажное зерно подается в сушильную камеру 1 и охладительную камеру 2 до уровня  $H_0$ . Создаваемый вентилятором 3 воздушный поток разделяется на две части. Большая часть воздушного потока попадает в насадку 4, проходит через нагревательные элементы 5, нагревается до необходимой температуры и, пронизывая центральную часть решетчатого дна 6, попадает в сушильную камеру. Остальная часть воздушного потока, проходя через боковую конусную часть решетчатого дна 6, попадает в охладительную камеру. Насадка 4 увеличивает скорость воздушного потока до критической, при которой плотный слой зерна в сушильной камере переходит в разрыхленное, псевдоожиженное состояние и достигает высоты  $H$ , большей, чем высота сушильной камеры.

Часть подсущенного зерна, нагретого до предельной температуры, неизбежно попадает в охладительную камеру, где происходит его охлаждение за счет продувки холодным воздухом и

контактного теплообмена с охлажденным зерном. Одновременно с этим примерно такое же количество охлажденного зерна попадает через кольцевой зазор 7 в сушильную камеру и смешивается с циркуляционными потоками нагретого зерна. Процесс повторяется.



**Рис.1.** Зерносушилка псевдоожиженного слоя: I – наружный воздух; II – агент сушки; III – отработавший агент сушки; IV – сырое зерно; V – прогретое зерно; VI – отработавший воздух; VII – смешанное зерно; VIII – сухое зерно; 1 – сушильная камера; 2 – охладительная камера; 3 – вентилятор; 4 – насадка; 5 – нагревательные элементы; 6 – решетчатое дно; 7 – кольцевой зазор

**Fig.1.** Fluidized bed grain dryer: I – outside air; II – drying agent; III – spent drying agent; IV – raw grain; V – warmed grain; VI – spent air; VII – mixed grain; VIII – dry grain; 1 – drying chamber; 2 – cooling chamber; 3 – fan; 4 – nozzle; 5 – heating elements; 6 – lattice bottom; 7 – annular gap

## 5. Заключение (Conclusion)

Процесс сушки зерна псевдоожиженным слоем обеспечивает ряд положительных изменений собранной влажной зерновой культуры:

1. Дозревание зерновой массы. Сушка зерна способствует его равномерному распределению, высыханию и дозреванию. После потери влаги ускоряется процесс дозревания культуры (сушка свежего зерна пшеницы, проса, ячменя и т.п.).

2. Обеззараживание культуры. Когда снижается влажность зерна, резко снижается жизнедеятельность вредных микроорганизмов, которые присутствуют в продукции.

3. Улучшение и сохранение качества. Обработка зерна способна повысить его класс и продовольственные характеристики. Качественная сушка в зерносушилке позволяет довести сырую продукцию до отменного качества, тем самым можно вывести компанию на новые рынки сбыта, конкурировать с другими предприятиями и развивать бизнес.

4. Консервация продукта для длительного хранения. Сушка зерна на семена представляет собой процесс консервации культуры, чтобы сохранить посевной материал до следующего сезона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цугленок Н.В. и др. Методика определения теплофизических свойств зернового материала [Текст] // Вестник КрасГАУ, № 4. – Красноярск, 2007. – С. 131–133.
2. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. Учебник для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп./ -М.: Колос, 1999. -551 с.
3. Мухиддинова Я.Д., Умирзаков Р.А. Экспериментальные исследования дериватограммы пшеничного зерна //Проблемы энерго-и ресурсосбережения. 2020, № 3-4, -С.144-146.
4. Карпенко Г.В. Разработка и обоснование конструктивно-режимных параметров энергосберегающей установки для сушки зерна. - Пенза, 2005, - 210 с.



5. Манасян С.К. Техника и технология сушки зерна: уч. пособие. – Красноярск, 2007.–153 с.
6. Изтаев А.И. Электрофизические методы обработки зерна на элеваторах и зерноперерабатывающих предприятиях: монография. - Астана:МОНРК, 2015. -172с.
7. Курдюмов В.И., Павлушкин А.А., Карпенко Г.В., Сутягин С.А. Экспериментальные исследования зерносушилки контактного типа // Сельскохозяйственные машины и технологии-2013.- №5. -С.115-116.
8. Мухиддинов Д.Н. Сушка сыпучих материалов в пневмо-вибро- псевдоожиженном слое. диссертация .к.т.н. 05.00.00 /Д. Н. Мухиддинов. — Ташкент, 1970. — 226 с.
9. Волженцев А.В. Совершенствование технологического процесса сушки зерна пшеницы и обоснование конструктивных параметров сушилки с псевдоожиженным слоем: автореферат к.т.н. -Воронеж, 2010. – 20 с.

#### REFERENCES

1. Tsuglenok N.V. & other/.Methodology for determining the thermophysical properties of grain material [Text] // Bulletin of the KrasGAU, No. 4. Krasnoyarsk, 2007. pp. 131-133.
2. Kavetsky G.D., Vasiliev B.D. Processes and apparatuses of food technology Textbook for universities.- 2nd ed., revised and add / - M.: Kolos, 1999.-551 p.
3. Mukhiddinova Ya.D., Umirzakov R.A. Experimental studies of the derivatogram of wheat grain //Journal "Problems of energy and resource conservation"- Tashkent, 2020., No. 3-4, pp. 144-146.
4. Karpenko G.V. Development and substantiation of design and operating parameters of an energy-saving grain drying plant. Penza, 2005. - 210 p.
5. Manasyan S.K. Technique and technology of grain drying: a textbook. -Krasnoyarsk, 2007. - 153 p.
6. Iztaev A.I. Electrophysical methods of grain processing at elevators and grain processing enterprises: monograph. Astana: MONRK, 2015.-172 p.
7. Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Karpenko G.V., Sutyagin S.A. Experimental studies of contact type grain dryers // Agricultural machinery and technologies - 2013.- No. 5. Pp.115-116.
8. Mukhiddinov D.N. Drying of bulk materials in a pneumatic-vibro-fluidized bed. dissertation .of. Candidate of Technical Sciences: 05.00.00 / D.N. Mukhiddinov. Tashkent, 1970. 226 p.
9. Volzhentsev A.V. Improving the technological process of drying wheat grain and substantiating the design parameters of a fluidized bed dryer: abstract of Candidate of Technical Sciences Voronezh, 2010. – 20 p.