

Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: temirlanalimbekuly@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7419-1281>.

Айбек Еркебұланұлы Әлібеков* – инженер научно-исследовательского центра «Инженерия поверхности и трибология» Восточно-Казахстанского университета имени Сарсена Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: aibek.alibekov.03@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4271-0170>.

Received 06.02.2026

Revised 16.03.2026

Accepted 17.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2\(22\)-58](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2(22)-58)



МРНТИ: 44.31.35

Д.М. Тойбазар^{1,2}, И.М. Дауренова^{1,2*}, А.Б. Мустафаева³, Б.А. Урмашев⁴, М.Ж. Хазимов^{1,2}

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
050010, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Абая, д. 8

³Казахстанско-Британский технический университет,
050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би 59

⁴Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби 71

*e-mail: indikow-88-kz@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ

Аннотация: В работе рассматривались теплофизические свойства зерна кукурузы, а также початков кукурузы при различных уровнях влажности. Целью исследования являлось определение теплоёмкости, теплопроводности и температуропроводности для анализа процессов тепловой обработки и сушки кукурузы. Дополнительно были определены теплофизические характеристики, включая плотность зерна и початков кукурузы, и установлены зависимости этих параметров от уровня влажности. Полученные зависимости позволяют более точно описывать процессы переноса тепла и влаги при сушке и хранении кукурузы. Для определения теплофизических свойств початков кукурузы использовался прибор ИТП МГ4-100, обеспечивающий измерение основных теплофизических параметров с требуемой точностью. В работе также применялся шаровой бикалориметр, с помощью которого определялись теплофизические свойства зерна кукурузы и рассчитывались основные тепловые характеристики материала. Измерение температурных параметров на поверхности початков кукурузы осуществлялось с использованием инфракрасного термометра «Fluke», что позволило проводить контроль температуры в процессе эксперимента. Сушка образцов проводилась в сушильной установке «ШС-40 СПУ» в заданном диапазоне температур и влажностных режимов. В ходе исследования были определены теплофизические свойства зерна и початков кукурузы при разной влажности. Также изучены процессы влагообмена в результате сушки влажность продукции снизилась с 72% до 60%. Анализ экспериментальных данных и полученных зависимостей способствует разработке тепловой обработки и сушки, обеспечивающих снижение эффективности сушки кукурузы.

Ключевые слова: зерно кукурузы, початки кукурузы, теплофизические свойства, шаровой бикалориметр, ИТП МГ4 100.

Введение

Кукуруза – одна из важнейших сельскохозяйственных культур, занимающая третье место в мире по посевной площади после пшеницы и риса. Уникальность кукурузы заключается в разносторонних направлениях использования зерна и листостебельной массы. Теплофизические свойства початков и отдельных зерен являются важным фактором, влияющим на качество сушки, хранения, очистки и переработки кукурузы [1]. Початки кукурузы

©Д.М. Тойбазар, И.М. Дауренова, А.Б. Мустафаева, Б.А. Урмашев, М.Ж.Хазимов, 2026

при сборе урожая характеризуются высокой влажностью, которая в ряде регионов превышает 70%. Повышенная влажность осложняет транспортировку и сокращает срок хранения зерна без предварительной послеуборочной обработки [2]. К тому же продолжительные осадки в период уборки приводят к тому, что зерно собирается с повышенной влажностью. Согласно исследованиям, около 80% урожая поступает на пункты приёма с влажностью выше 70%, что значительно увеличивает риск его порчи. В подобных условиях сушка зерна является главным и самым надёжным методом его сохранения, позволяя снизить влажность до безопасного уровня и сохранить качество урожая на длительный срок [3].

Початок кукурузы – сложная и неоднородная структура, состоящая из стержня, стебля, зерен и межзерновых пустот, что обуславливает различия теплофизических свойств по объёму. Отдельные зерна более однородны, но их свойства зависят от влажности, сорта и структуры. Сушка изменяет влажность, что значительно влияет на теплопроводность и теплоёмкость зерна и початка [4].

Сегодня особое внимание уделяется качеству сушки кукурузы и сохранению её питательных веществ. Для этого изучаются теплофизические свойства зерна, которые используются при создании математических моделей теплообмена, разработке сушильных установок, выборе оптимальных режимов конвективной и солнечной сушки, а также для предотвращения перегрева и порчи зерна в процессе хранения. Таким образом, изучение теплофизических характеристик початков и зерен кукурузы важно для технологических процессов в агропромышленном комплексе [5, 6].

Целью данного исследования является изучение взаимосвязи между теплофизическими свойствами початков кукурузы при влажности 70% и зерен при влажности 72% и их уровнем влажности, а также определение диапазона изменений этих свойств при разных показателях влажности.

Задачи исследования

Адаптировать существующие экспериментальные методы для определения теплофизических характеристик початков и зерна кукурузы.

Провести серию экспериментов по измерению теплоёмкости, теплопроводности и температуропроводности образцов при различной влажности.

Определить плотность исследуемых образцов и учесть её при расчётах теплофизических параметров.

Обработать экспериментальные данные и получить функциональные зависимости теплофизических характеристик от влажности.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были использованы початки кукурузы и очищенные зерна одной партии, чтобы обеспечить однородность результатов. Образцы перед экспериментами сортировались по массе и размеру, исключая повреждённые и биологически поражённые початки и зерна. Образцы с разной влажностью использовались для исследования зависимости теплофизических характеристик от влаги: початки 60-70 %, зерно – 58-72 %. Влажность определяли термогравиметрическим методом при $105 \pm 1^\circ\text{C}$ для установления исходного содержания влаги перед измерениями [7].

На поле оставляют часть початков для сохранения питательных свойств зерна и продления срока хранения кукурузы; початки сушат непосредственно в стебле. Такой подход обеспечивает естественное высыхание кукурузы и способствует сохранению питательных веществ зерен. Поэтому при изучении исследуемого объекта с разными показателями были использованы образцы, высушенные с разной влажностью. Изучение теплофизических характеристик початков и зерна кукурузы, в частности теплопроводности и теплоёмкости, позволяет оценить особенности распределения тепла в процессе сушки. Эти параметры играют ключевую роль при выборе рациональных режимов сушки, так как показывают, насколько равномерно и быстро тепло передаётся через материал [8].

Для определения теплофизических свойств материала на практике используют разные экспериментальные методы. Так, теплопроводность можно измерять стационарными и нестационарными способами, удельную теплоёмкость с помощью калориметров, а температуропроводность с помощью методов лазерной вспышки или переходного теплового зонда. Кроме того, плотность материала определяют пикнометрическими или объёмными методами, а влажность термогравиметрическим способом [9]. Рисунок 1 иллюстрирует

анатомическое строение зерновки кукурузы, что позволяет визуально соотнести её внутренние компоненты – эндосперм, зародыш и оболочки – с полученными теплофизическими характеристиками. Различия в строении тканей определяют распределение плотности, влажности и теплопроводности, что важно для интерпретации результатов экспериментов при изменении влажности материала.

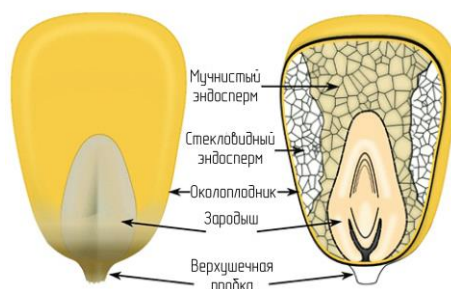


Рисунок 1 – Анатомическое строение зерновки кукурузы

Исследование теплофизических свойств початков кукурузы (прибор ИТП-МГ4 «100»).

Для измерения теплофизических свойств початков кукурузы использовался прибор ИТП-МГ4 «100» (Данный прибор рассчитан для определения свойств строительных материалов, есть какие-то дополнительные условия, например подготовка образца, для определения теплопроводности кукурузы?). Он работает так: через образец пропускается постоянный поток тепла, перпендикулярно его поверхности. Температуру на двух противоположных сторонах образца измеряют платиновые датчики, а термоэлементы Пельтье поддерживают стабильную разницу температур [10].

Измерения прибора включают температуру поверхности образца, плотность теплового потока и толщину материала. Затем вычисляют коэффициент теплопроводности, отражающий теплопроводящие свойства початка. Работы проводятся согласно ГОСТ 7076 для стационарного теплопереноса. Общий вид измерительного прибора показан на рисунке 2 [11].



Рисунок 2 – Общий вид измерительного прибора ИТП-МГ4 «100»

1 – исследуемый материал (початки кукурузы); 2 – камера испытаний; 3 – электронный блок управления

Значение теплопроводности материала λ вычисляли на основе теплового потока, проходящего через исследуемый образец, по уравнению стационарной теплопередачи [12]

$$\lambda = \frac{H \cdot q}{T_n - T_x}, \quad (1)$$

λ – коэффициент передачи тепла, Вт/м·К;

q – плотность постоянного теплового потока, через исследуемый образец, Вт/м²;

T_n – температура нагретой грани образца, К;

H – толщина измеряемого образца, мм;

T_x – температура холодной грани образца, К.

Расчёт теплового сопротивления образца початка кукурузы проводили по формуле [12]:

$$R_{\text{н}} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{q} - 2 \cdot R_{\text{к}}, \quad (2)$$

$R_{\text{н}}$ – тепловое сопротивление исследуемого материала, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$R_{\text{к}}$ – сопротивление теплообмену между лицевой стороной образца и рабочей поверхностью прибора, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Удельную теплоёмкость рассчитывали по формуле [13]:

$$c = \frac{q}{m \cdot \Delta T}, \quad (3)$$

q – тепло, передающееся от внутренней к внешней поверхности шарового слоя початка кукурузы, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

m – масса исследуемого образца початка кукурузы, кг ;

ΔT – температурный перепад между горячей и холодной гранью $T_{\text{х}}$ ($T_{\text{н}} - T_{\text{х}}$), К

На основе рассчитанных значений теплопроводности λ и удельной теплоемкости вычисляли коэффициент температуропроводности [13]:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (4)$$

λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

c – удельная теплоёмкость, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Для эксперимента образцы початков кукурузы размещались в рабочей камере ИТП-МГ4-100 (100×100 мм), где создавался постоянный температурный градиент, поддерживающий стационарный режим теплопередачи [12]. Датчики температуры, встроенные в прибор, фиксировали значения на нагретой и охлаждаемой сторонах образца, что позволяло точно измерить разность температур ΔT и плотность теплового потока q . На основе этих данных вычисляли теплопроводность λ , тепловое сопротивление $R_{\text{н}}$, теплоёмкость c и температуропроводность a по соответствующим формулам.

Исследование теплофизических свойств зерен кукурузы с помощью бикалориметра.

На рисунке 3 (а) показана установка на основе бикалориметра для изучения теплофизических свойств зерен кукурузы.

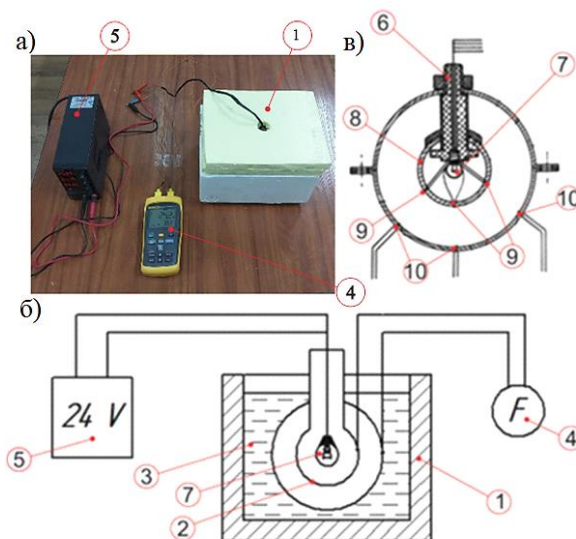


Рисунок 3 – Схема установки для определения теплофизических свойств зерна кукурузы:

а – общий вид установки; б – электрическая схема установки; в – схема шарового бикалориметра;

1 – термостат; 2 – шаровой бикалориметр; 3 – трансформаторное масло;

4 – термометр «Fluke»; 5 – источник питания, 6 – эбонитовый стержень; 7 – электрическая лампочка;

8 – внутренний шар; 9, 10 – внутренние и наружные термопары

Она состоит из двух медных сфер – внутренней и внешней, расположенных с общим центром. Диаметр внутренней сферы составляет 77,6 мм, а внутренний диаметр внешней – 42,3 мм. Зерна кукурузы помещаются в пространство между сферами для проведения измерений. В центре внутренней сферы установлена электрическая лампа, которая служит

источником тепла. Её мощность регулируется и контролируется с помощью ваттметра. Когда зерна плотно заполняют пространство между сферами, предполагается, что температура материала в местах соприкосновения с внутренними стенками совпадает с температурой медных сфер. Для измерения температурного перепада используется термометр «Fluke», оснащённый двумя термопарами. Одна термопара закрепляется на внутренней поверхности внешней сферы, а другая на внешней поверхности внутренней сферы. После того как пространство между сферами заполняется зерном и плотно закрывается, затем бикалориметр помещают в термостат с трансформаторным маслом, температура которого поддерживается постоянной. Активное перемешивание масла создаёт высокий коэффициент теплообмена ($\alpha \rightarrow \infty$). Внутренний источник тепла остаётся включённым на протяжении всего эксперимента. Как обеспечивается равномерность заполнения кукурузными зёрнами? Воздушные прослойки вносят погрешность. Какие теплофизические характеристики определяли этим методом?

После помещения бикалориметра в термостат измеряют начальные температуры: T_1 на наружной поверхности внутренней сферы и T_2 на внутренней поверхности внешней сферы. Далее температуру записывали каждую минуту. Влажность зерна постепенно изменяли как изменяли влажность?, чтобы изучить её влияние на теплообмен. В эксперименте использовали пять образцов кукурузы одинаковой массы, но с разной влажностью. Перед экспериментом влажность определяли с помощью сушильного шкафа «ШС-40-02 СПУ» (рис. 3), а плотность зерна рассчитывали по массе и объёму образца.

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (5)$$

где

ρ – массовая плотность початка кукурузы или зерна, кг/м³;

m – объёмная масса зерна кукурузы, кг;

V – объём зернового материала, м³.

Объём материала при изменении плотности определяли стандартным пикнометрическим методом. Для этого зерно загружали в цилиндр. Сначала фиксировали уровень жидкости в цилиндре, затем погружали материал. Разница между исходным и новым уровнем жидкости показывала объём зерна. В эксперименте также изучали, как влажность влияет на объёмную массу материала. Чтобы результаты были точными, все измерения проводили при контролируемой температуре и давлении. Для проверки достоверности данных проводились повторные эксперименты, а оборудование калибровали. Схема установки показана на рисунке 3.

На рисунке 4 представлен сушильный шкаф ШС-40-02, использованный для определения влажности початков и зерна кукурузы.



Рисунок 4 – Сушильный шкаф ШС-40-02 для определения влажности початков кукурузы и зерна

Сначала использовали измеренные значения температур и другие экспериментальные данные. По ним рассчитывали теплопроводность, теплоёмкость и температуропроводность материала.

Коэффициент теплопроводности исследуемого материала определялись по формуле а ранее писали по формуле 1 как это связано?:

$$\lambda = \frac{Q(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2})}{4\pi(T_{c1} - T_{c2})}, \quad (6)$$

где

Q – тепловой поток от внутренней стороны к наружной поверхности зерна, Вт;

R_1, R_2 – радиусы внутренней и наружной сфер, м;

T_{c1}, T_{c2} – температурный режим внутренней и наружной поверхности шарового слоя, °С

Тепловой поток рассчитывали на основе мощности, потребляемой лампочкой, с использованием формулы:

$$Q = W, \quad (7)$$

где

W – мощность, подводимая к лампе, Вт.

Результаты исследования

На рисунках 5-7 представлены графические зависимости, показывающие, как теплофизические свойства початков кукурузы и зерна изменяются в зависимости от их влажности. Для обоих объектов характерна типичная для капиллярно-пористых растительных материалов зависимость теплофизических характеристик от содержания влаги. С увеличением влажности постепенно повышаются теплопроводность и удельная теплоёмкость материала. Рост теплопроводности объясняется замещением воздушных полостей влагой, обладающей большей теплопроводностью, чем воздух, что способствует более интенсивному переносу тепла через зерновую массу. Увеличение теплоёмкости связано с ростом количества связанной и свободной влаги, которая сама по себе хорошо накапливает тепло, что повышает общую способность материала удерживать тепловую энергию. При увеличении влажности температуропроводность уменьшается. Это происходит потому, что рост теплоёмкости и плотности материала замедляет распространение тепла внутри початков и зерна. Таким образом, высокая влажность помогает материалу накапливать тепло, но замедляет выравнивание температуры внутри него. Такое поведение теплофизических характеристик согласуется с закономерностями, характерными для большинства растительных материалов, отличающихся выраженной пористостью и влагоёмкостью.

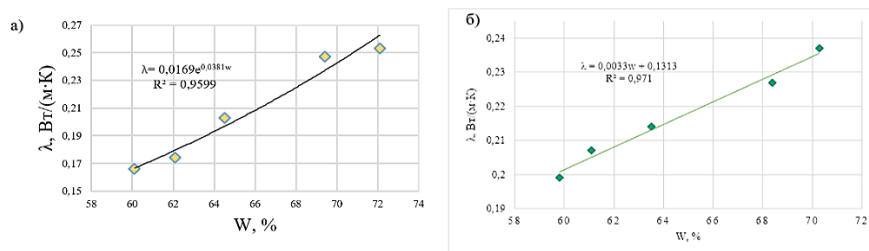


Рисунок 5 – Влияние влажности на теплопроводность початков кукурузы (а) и зерна (б)

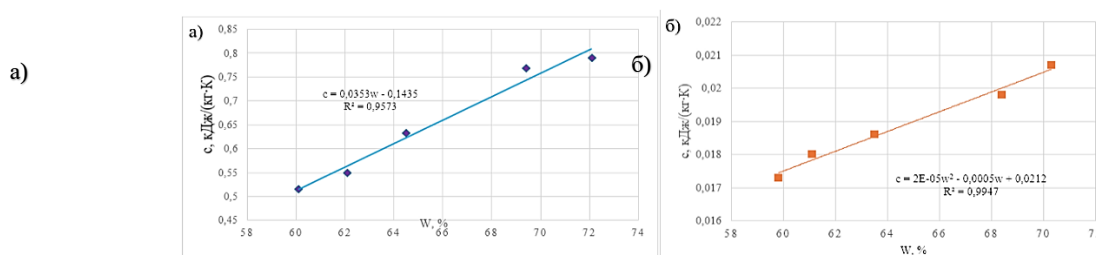


Рисунок 6 – Влияние влажности на теплоёмкость початков кукурузы (а) и зерна (б)

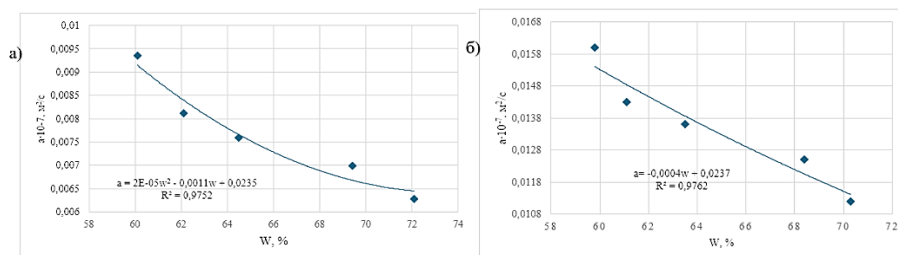


Рисунок 7 – Влияние влажности на температуропроводность початков кукурузы (а) и зерна (б)

На рисунках представлена, как изменяются основные теплофизические свойства зерна и початков кукурузы в зависимости от влажности. При увеличении влажности повышаются теплопроводность и удельная теплоёмкость, а температуропроводность наоборот снижается. На рисунке 5 видно, что теплопроводность зерна постепенно увеличивается при повышении влажности с 60 % до 72 %. Это связано с тем, что поры зерна заполняются влагой, а доля воздуха уменьшается. У початков кукурузы теплопроводность растёт более заметно, так как стержень и обёртки создают дополнительные пути для передачи тепла при увлажнении. На рисунке 6 видно, что удельная теплоёмкость зерна и початков кукурузы растёт с увеличением влажности, потому что вода удерживает тепло лучше, чем сухая часть растения. Увеличение теплоёмкости початков выражено сильнее из-за большей влагоёмкости и пористо-волокнутой структуры початков, удерживающих больше связанной воды. На рисунке 7 показано, что с увеличением влажности температуропроводность у зерна и початков кукурузы уменьшается. Это происходит из-за роста теплоёмкости и плотности материала, что замедляет распространение тепла. У початков снижение температуропроводности выражено сильнее из-за их сложной и неоднородной структуры. Следовательно, с увеличением влажности кукуруза лучше накапливает и проводит тепло, но тепловой поток распространяется медленнее. Эти данные важны для выбора оптимальных режимов сушки зерна и початков, чтобы сохранить качество и снизить затраты энергии при обработке.

Выводы

Для изучения теплофизических свойств и плотности зерна и початков кукурузы использовались числовые коэффициенты (какие именно и что за коэффициенты) для расчёта параметров оборудования для сушки и тепловой обработки. Метод исследования выбирали с учётом структуры материала для зерна использовали шаровой бикалориметр, который точно измеряет теплофизические свойства однородных и рыхлых образцов, а для початков кукурузы использовали прибор ИТП МГ4-100, подходящий для более сложной структуры и минимизации потерь тепла. Результаты показали, что при влажности зерна от 59,8 до 72,1 % теплофизические свойства изменяются следующим образом: удельная теплоёмкость увеличивается с 0,0173 до 0,0207 кДж/(кг·К), теплопроводность – с 0,199 до 0,237 Вт/(м·К), а температуропроводность снижается с $0,016 \cdot 10^{-7}$ до $0,0112 \cdot 10^{-7}$ м²/с.

При влажности 60,1-70,3 % у початков кукурузы заметно увеличиваются теплофизические свойства. Удельная теплоёмкость возрастает с 0,516 до 0,79 кДж/(кг·К), теплопроводность – с 0,166 до 0,253 Вт/(м·К), а температуропроводность снижается с $0,00935 \cdot 10^{-7}$ до $0,00628 \cdot 10^{-7}$ м²/с..

Полученные результаты закономерностей хорошо согласуются предыдущих исследований согласуются с литературными данными по теплофизическим свойствам капиллярно-пористых растительных материалов, приведёнными в работах Гинзбурга А.С., Буткова В.М., Mohsenin M.A., Choi S. и др. растительных материалов с похожей пористой структурой. Эти зависимости могут быть использованы при разработке и оптимизации конструктивно-технологических параметров оборудования для сушки зерна и початков кукурузы, что позволяет улучшить энергетическую эффективность процесса и сохранить качественные свойства сырья.

Список литературы

1. Szymanek, M. Influence of sweet corn harvest date on kernels quality / M. Szymanek // Research in Agricultural Engineering. – 2009. – № 55(1). – P. 10-17. <https://doi.org/10.17221/13/2008-RAE>.
2. Initial Moisture Content of Corncobs Plays an Important Role in Maintaining its Quality during Storage / L. Mukkun et al // agriTECH. – 2018. – Vol. 38, № 2. <https://doi.org/10.22146/agritech.26663>
3. Кузьмин, И.И. Научное обоснование повышения уровня гибридности семян кукурузы и технологии послеуборочной их переработки на заводах: автореф. дисс. канд.техн.наук. – М., 1999. – 24 с.
4. Пермяков В.Н. Обоснование режимов сушки початков кукурузы в толстом слое / В.Н. Пермяков, Ф.Р. Сафин // Известия оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6(92). – С 150-153. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-150-153>.
5. Бакиев И.Т. Интенсификация процесса сушки початков кукурузы: автореф. дисс. канд.техн.наук. – Санкт-Петербург – Павловск, 2005.

6. Бакиев И.Т. Выбор режима сушки початков кукурузы / И.Т. Бакиев, И.Х. Масалимов, В.Н. Пермяков // Материалы XLII научно-технической конференции Челябинского государственного агроинженерного университета. – Челябинск, ЧГАУ, 2003, – Ч.2. – С. 36-38.
7. Кирпа М.Я. Кукуруза: сбор, сушка, качество: Монография / М.Я. Кирпа, Г.Н. Станкевич, М.О. Стюрко. – Одесса: КП ОМД, 2015. – 150 с.
8. Яковенко В.А. Сушка и хранение кукурузы: Монография. / В.А. Яковенко, Д.В. Гольберг. – Одесса: Одесское книжное изд-во, 1960. – 29 с.
9. Александр С.П. Теоретическое исследование тепловых процессов при экструдировании зерна кукурузы / С.П. Александр, К. Р. Георгий, Н.Б. Сергей // Вестник РГАТУ. – 2024. – т. 16, № 1. – С.195-200.
10. Contribution to thermal and acoustic characterization of corn cob / M. Bovo et al // Исследование термических свойств початков кукурузы. – 2022. – Том 262. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111994>.
11. ГОСТ 7076. Методы определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. – 1999.
12. СКБ «Стройприбор». Измерители теплопроводности ИТП-МГ4 «100», ИТП-МГ4 «250», ИТП-МГ4 «300». Техническое описание прибора, принцип работы, спецификации. stroypribor.com
13. Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская // Пищевая промышленность. – Москва, 1990. – 288 с.

References

1. Szymanek, M. Influence of sweet corn harvest date on kernels quality / M. Szymanek // Research in Agricultural Engineering. – 2009. – № 55(1). – R. 10-17. <https://doi.org/10.17221/13/2008-RAE>. (In English).
2. Initial Moisture Content of Corncobs Plays an Important Role in Maintaining its Quality during Storage / L. Mukkun et al // agriTECH. – 2018. – Vol. 38, № 2. <https://doi.org/10.22146/agritech.26663>. (In English).
3. Kuz'min, I.I. Nauchnoe obosnovanie povы'sheniya urovnya gibridnosti semyan kukuruzy` i texnologii posleuborochnoj ix pererabotki na zavodax: avtoref. diss. kand.texn.nauk. – M. – 1999. – 24 s. (In Russian).
4. Permyakov V.N. Obosnovanie rezhimov sushki pochatkov kukuruzy` v tolstom sloe / V.N. Permyakov, F.R. Safin // Izvestiya orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – № 6(92). – S 150-153. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-92-6-150-153>. (In Russian).
5. Bakiev I.T. Intensifikaciya processa sushki pochatkov kukuruzy`: avtoref. diss. kand.texn.nauk. – Sankt-Peterburg – Pavlovsk – 2005. (In Russian).
6. Bakiev I.T. Vy`bor rezhima sushki pochatkov kukuruzy` / I.T. Bakiev, I.X. Masalimov, V.N. Permyakov // Materialy` XLII nauchno-texnicheskoj konferencii Chelyabinskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta.- Chelyabinsk, ChGAU, 2003, – Ch.2. – S. 36-38. (In Russian).
7. Kirpa M.Ya. Kukuruza: sbor, sushka, kachestvo: Monografy`ya / M.Ya. Kirpa, G.N. Stankevich, M.O. Styurko. – Odessa: KP OMD, 2015. – 150 s. (In Russian).
8. Yakovenko V.A. Sushka i xranenie kukuruzy`: Monografiya. / V.A. Yakovenko, D.V. Gol`berg. – Odessa: Odesskoe knizhnoe izd-vo, 1960. – 29 s. (In Russian).
9. Aleksandr S.P. Teoreticheskoe issledovanie teplovy`x processov pri e`kstrudirovanii zerna kukuruzy` / S.P. Aleksandr, K. R. Georgij, N.B. Sergej // Vestnik RGATU. – 2024. – t. 16, № 1. – S.195-200. (In Russian).
10. Contribution to thermal and acoustic characterization of corn cob / M. Bovo et al // Issledovanie termicheskix svojstv pochatkov kukuruzy`. – 2022. – Том 262. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111994>. (In English).
11. GOST 7076. Metody` opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri stacionarnom teplovom rezhime. 1999. (In Russian).
12. SKB «Strojpribor». Izmeriteli teploprovodnosti ITP MG4 «100», ITP MG4 «250», ITP MG4 «300». Texnicheskoe opisanie pribora, princip raboty`, specifikacii. stroypribor.com. (In Russian).
13. Ginzburg, A.S. Teplofizicheskie karakteristiki pishhevyy`x produktov: A.S. Ginzburg, M.A. Gromov, G.I. Krasovskaya // Pishhevaya promy`shlennost`. – Moskva, 1990. – 288 s. (In Russian).

Информация о финансировании Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту «AP26199873 Разработка энерго- и ресурсосберегающей гибридной технологии транспортировки, хранения и складирования початков кукурузы с одновременной осциллирующей сушкой в контейнерах с использованием гелиовоздушных коллекторов и теплонасосной установки».

И.М. Дауренова^{1,2*}, Д.М. Тойбазар^{1,2}, А.Б. Мустафаева³, Б.А. Урмашев⁴, М.Ж. Хазимов^{1,2}

¹Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы Энергетика және Байланыс Университеті,
050013, Қазақстан, Алматы қ., Байтұрсыұлы к-сі, 126/1

²Қазақ Ұлттық Аграрлық Зерттеу Университеті,
050010, Қазақстан, Алматы қ., Абай д-лы, 8.

³Қазақ-Британ техникалық университеті,
050000, Қазақстан, Алматы қ., Төле би к-сі, 59

⁴Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
050040, Қазақстан, Алматы қ., Әл-Фараби д-лы, 71

*e-mail: indikow-88-kz@mail.ru

ЖҮГЕРІ СОБЫҚТАРЫНЫҢ ТЕРМОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АНЫҚТАУ

Жұмыста әртүрлі ылғалдылық деңгейлеріндегі жүгері дәнінің және жүгері собығының жылуфизикалық қасиеттері қарастырылды. Зерттеудің мақсаты – жүгеріні жылулық өңдеу және кептіру процестерін талдау үшін жылуемісшілдікті, жылуөткізгіштікті және температураөткізгіштікті анықтау болды. Қосымша түрде жүгері дәні мен собығының тығыздығын қоса алғанда, жылуфизикалық сипаттамалары анықталып, олардың ылғалдылық деңгейіне тәуелділігі белгіленді. Алынған тәуелділіктер жүгеріні кептіру және сақтау кезінде жылу мен ылғалдың тасымалдану процестерін неғұрлым дәл сипаттауға мүмкіндік береді. Жүгері собығының жылуфизикалық қасиеттерін анықтау үшін негізгі жылуфизикалық параметрлерді қажетті дәлдікпен өлшеуді қамтамасыз ететін ИТП МГ4-100 аспабы қолданылды. Сонымен қатар, жүгері дәнінің жылуфизикалық қасиеттерін анықтау және материалдың негізгі жылулық сипаттамаларын есептеу үшін шарлы бикалориметр пайдаланылды. Жүгері собықтарының беткі температуралық параметрлерін өлшеу «Fluke» инфрақызыл термометрі арқылы жүзеге асырылды, бұл эксперимент барысында температураны бақылауға мүмкіндік берді. Үлгілерді кептіру белгіленген температура және ылғалдылық режимдерінде «ШС-40 СПУ» кептіру қондырғысында жүргізілді. Зерттеу барысында әртүрлі ылғалдылықтағы жүгері дәні мен собығының жылуфизикалық қасиеттері анықталды. Сондай-ақ ылғал алмасу процестері зерттеліп, кептіру нәтижесінде өнімнің ылғалдылығы 72%-дан 60%-ға дейін төмендеді. Эксперименттік деректер мен алынған тәуелділіктерді талдау жүгеріні кептірудің тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететін жылулық өңдеу және кептіру технологияларын әзірлеуге ықпал етеді.

Түйін сөздер: жүгері дәні, жүгері собығы, жылуфизикалық қасиеттер, шарлы бикалориметр, ИТП МГ4-100.

D.M. Toibazar^{1,2}, I.M. Daurenova^{1,2*}, A.B. Mustafaeva³, B.A. Urmashiev⁴, M.Zh. Khazimov^{1,2}

¹Gumarbek Daukeev Almaty University of Energy and Communications,
050013, Republic of Kazakhstan, Almaty, Baitursynuly street, 126/1

²Kazakh National Agrarian Research University,
050000, Republic of Kazakhstan, Almaty, Abay avenue, 8

³Kazakh-British Technical University,
050000, Republic of Kazakhstan, Almaty, Tole bi street, 59

⁴Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, Al-Farabi avenue, 71

*e-mail: indikow-88-kz@mail.ru

DETERMINATION OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF CORN COB

This study examines the thermophysical properties of corn grain and corn cobs at various moisture content levels. The aim of the research was to determine the specific heat capacity, thermal conductivity, and thermal diffusivity for the analysis of thermal treatment and drying processes of corn. In addition, thermophysical characteristics, including the density of corn grain and cobs, were determined, and the dependence of these parameters on moisture content was established. The obtained relationships allow for a more accurate description of heat and moisture transfer processes during the drying and storage of corn. To

determine the thermophysical properties of corn cobs, the ITP MG4-100 device was used, which provides measurement of the main thermophysical parameters with the required accuracy. A spherical bicalorimeter was also employed to determine the thermophysical properties of corn grain and to calculate the main thermal characteristics of the material. Measurement of temperature parameters on the surface of corn cobs was carried out using a Fluke infrared thermometer, which enabled temperature monitoring during the experiment. Drying of the samples was performed in the «ShS-40 SPU» drying unit within specified temperature and humidity ranges. During the study, the thermophysical properties of corn grain and cobs at different moisture contents were determined. Moisture transfer processes were also investigated; as a result of drying, the moisture content of the product decreased from 72% to 60%. Analysis of the experimental data and the obtained relationships contributes to the development of thermal treatment and drying methods aimed at improving the efficiency of corn drying.

Key words: corn grain, corn cobs, thermophysical properties, spherical bicalorimeter, ITP MG4-100.

Сведения об авторах

Даулет Мейірұлы Тойбазар – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетические системы» Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Казахстан; e-mail: d.toibazar@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0009-0002-4978-4400>.

Индира Маликовна Дауренова* – докторант, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан; e-mail: indikow-88-kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0155-6954>.

Ардақ Болатқызы Мустафаева – сениор-лектор школа прикладной математики, «Казахстанско-Британский технический университет», г. Алматы, Казахстан; e-mail: mustafayeva.ab@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0009-0008-0312-016X>.

Байдаулет Амантаевич Урмашев – профессор, кафедра компьютерных наук факультета информационных технологий, Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; e-mail: baydaulet.urmashev@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>.

Марат Жалелович Хазимов – кандидат технических наук, профессор, кафедра «Теплоэнергетики и физика» Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы, Казахстан; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Авторлар туралы мәліметтер

Даулет Мейірұлы Тойбазар – «Электр энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы, Г. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: d.toibazar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4978-4400>.

Индира Мәлікқызы Дауренова* – «Энергетика және электротехника» кафедрасының, докторанты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ. Қазақстан; e-mail: indikow-88-kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0155-6954>.

Ардақ Болатқызы Мустафаева – Қолданбалы математика мектебінің сениор-лекторы, Қазақ Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: mustafayeva.ab@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0312-016X>.

Байдаулет Амантаевич Урмашев – Ақпараттық технологиялар факультеті, Информатика кафедрасының профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан; e-mail: baydaulet.urmashev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>.

Марат Жалелович Хазимов – «Жылуэнергетикасы және физика» кафедрасының профессоры Г. Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ. Қазақстан; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Information about the authors

Daulet Toibazar – Senior Lecturer, Department of Electric Power Systems, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; e-mail: d.toibazar@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4978-4400>.

Indira Daurenova* – PhD doctoral student, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: indikow-88-kz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0155-6954>.

Ardak Mustafayeva – Senior Lecturer, School of Applied Mathematics, Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: mustafayeva.ab@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0312-016X>.

Baydaulet Urmashev – Professor, Department of Computer Science, Faculty of Information Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; e-mail: baydaulet.urmashev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7641-198X>.

Marat Khazimov – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Thermal Power Engineering and Physics, Gumarbek Daukeyev Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan; e-mail: mkhazimov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5448-3122>.

Поступила в редакцию 14.01.2026
Поступила после доработки 27.03.2026
Принята к публикации 30.03.2026

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2\(22\)-59](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-2(22)-59)



МРНТИ 31.15.10

И.М. Дауренова^{1,2*}, Д.М. Тойбазар^{1,2}, А.Б. Мустафаева³, Б.А. Урмашев⁴, М.Ж. Хазимов^{1,2}

¹Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
050010, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Абая, д. 8

³Казахстанско-Британский технический университет,
050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе би, 59

⁴Казахский национальный университет имени Аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. Аль-Фараби, 71

*e-mail: daurenovaindira1@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ СУШКИ КУКУРУЗЫ

Аннотация: В статье представлено исследование процесса сушки кукурузы с использованием экспериментальной сушильной установки, работающей на базе воздушного солнечного коллектора. Проведены теплотехнические эксперименты, включающие измерение скорости воздушного потока и регистрацию изменения влажности кукурузы в процессе сушки. Дополнительно выполнен анализ конструктивных и эксплуатационных характеристик солнечного гелиоколлектора, исследованы показатели солнечной радиации в зоне эксперимента, что обеспечило оценку уровня доступной солнечной энергии и её влияния на эффективность нагрева воздуха. Проведённые исследования позволили определить тепловую мощность воздушного коллектора, оценить распределение температур по его длине и установить оптимальные параметры работы системы. Установлено, что использование солнечного нагрева обеспечивает значительное снижение энергозатрат на сушку кукурузы, повышает энергоэффективность процесса и способствует устойчивому использованию возобновляемых источников энергии. Дополнительно выполнено сравнение экспериментальных данных с расчётными зависимостями, что позволило уточнить кинетику влагопереноса и теплообмена в слое кукурузы. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации солнечных сушильных установок для сельскохозяйственной продукции, а также для обоснования рациональных режимов сушки в условиях переменной инсоляции и естественной вентиляции.

Ключевые слова: солнечные коллекторы, сушка кукурузы, солнечная радиация, пиранометр GSM/O-120, измерение излучения.

Введение

Кукуруза является одной из ключевых зерновых культур, востребованных для продовольственных, кормовых и технических целей [1]. Высокая урожайность, универсальность использования и ценность химического состава делают её важным компонентом агропромышленного комплекса. Важнейшим элементом растения, определяющим продуктивность и качество урожая, является початок кукурузы [2].

Поздние сроки уборки и несвоевременная сушка негативно влияют на качество зерна, приводят к трещинам и повреждению початков, снижая товарную и семенную ценность [3]. Оптимальная влажность зерна для хранения и транспортировки составляет 14 –15%, при