

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 1 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия

выходит 4 раза в год _____

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://10.48081/BNAS6555>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., профессор

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***Р. М. Искаков¹, С. С. Исенов², А. К. Мерғалимова³,
И. К. Мамырбаева⁴, С. Ыбрай⁵**

¹Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина,
Республика Казахстан, г. Астана

e-mail: rus.iskakov79@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРМОВОЙ МУКИ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ШКВАРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ

В статье рассматриваются исследования по определению коэффициентов теплопроводности и температуропроводности для сырья в виде шквары и кормовой муки из шквары. Среднее значение теплопроводности по данным исследования составило для шквары $\lambda = 0,1100 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, кормовой муки животного происхождения $\lambda = 0,0830 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Среднее значение температуропроводности для шквары при плотности 1000 кг/м^3 и удельной теплоемкости при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C} - 583 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ составило $a = 18,6 \cdot 108 \text{ м}^2/\text{с}$. Среднее значение температуропроводности для кормовой муки животного происхождения при плотности 880 кг/м^3 и удельной теплоемкости при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C} - 1717 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$ составило $a = 5,5 \cdot 108 \text{ м}^2/\text{с}$. Полученные экспериментальные и расчетные результаты позволили путем их математической и компьютерной обработки получить эмпирические зависимости коэффициентов теплопроводности и температуропроводности для кормовой муки и шквары в зависимости от разности температуры. На основании анализа литературных данных по шкваре получена полиномиальная регрессионная формула зависимости коэффициента теплопроводности для шквары от влажности и построена ее графическая зависимость. Установлено, что режим работы устройства для сушки, в том числе с одновременным измельчением и перемешиванием, зависит от влагосодержания в перерабатываемом объекте. Выявлено, что при понижении влаги в перерабатываемом объекте снижается коэффициент теплопроводности и следовательно следует повышать

температуру нагрева до высоких температур в зависимости от длительности тепловой сушки.

Ключевые слова: теплофизические характеристики, теплопроводность, температуропроводность, шквара, кормовая мука.

Введение

Приготовление кормовой муки из отходов животного происхождения обязательно подразумевает под собой проведение процесса сушки, так как кормовая мука подразумевает под собой ее длительное хранение. Сохранение кормовой муки в сушеном виде является желаемой целью для заблаговременного обеспечения необходимыми кормами сельскохозяйственных животных и птиц. Также следует отметить, что проведение процесса сушки с применением теплового нагрева обеспечивает стерилизацию и обеззараживание кормового сырья.

Как известно, проведение процесса сушки требует знания характеристик тепловых и теплофизических свойств кормовых материалов и их сырья. Для этого применяют общие законы теплопроводности (уравнение теплопроводности Фурье). Зачастую от знания теплофизических свойств сырья, компонентов и частиц кормовой муки зависит правильное рациональное проектирование сушильных аппаратов и секций, в том числе с одновременным проведением смешивания и измельчения кормового сырья. В процессе проведения расчетов сушильных аппаратов и изучения процесса сушки, возникает необходимость нахождения основных теплофизических свойств для оптимального использования новых, ранее менее применяемых сырьевых компонентов для приготовления кормовой муки.

Одними из важных теплофизических свойств являются теплопроводность и температуропроводность, которые целесообразно определять экспериментальным и расчетным путем. Теплофизические свойства исходного сырья имеют большое значение при механическом взаимодействии с рабочими органами сушильно-измельчающих и перемешивающих устройств, при движении высушиваемых частиц по секциям сушки-измельчения и сушки-перемешивания, а также при интенсификации тепло-и массообменных процессов. Следовательно, исследования, посвященные определению основных теплофизических свойств кормового сырья и кормовой муки, принесут значительную практическую выгоду в процессе проведения сушки кормов и являются весьма актуальными.

Материалы и методы

В процессе сушки при приготовлении кормов следует отметить, что такие величины, как толщина, удельная масса высушиваемого материала,

теплофизические свойства, а также влагосодержание по существу определяют механизм переноса тепла и массы и, в конечном счете, интенсивность и длительность сушки. Поэтому объектом исследования является исследование теплофизических свойств, в частности коэффициентов теплопроводности λ и температуропроводности a кормового сырья – шквары и кормовой муки животного происхождения.

Измерение коэффициента теплопроводности λ производили с помощью измерителя плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03/5(Ш) «ПОТОК». Измеритель состоит из электронного блока, датчиков теплового потока (от одного до трех) и двух датчиков температуры. Датчики теплового потока соединены кабелем непосредственно с электронным блоком, датчики температуры соединяются кабелем с электронным блоком через разъемное соединение. Принцип действия, положенный в основу измерителя заключается в измерении термо-ЭДС контактных термоэлектрических датчиков теплового потока и сопротивления датчиков температуры. Микропроцессорное устройство измерителя осуществляет преобразование измеренных сигналов в плотность теплового потока и в температуру, отображая их на дисплее электронного блока, сохраняет результаты измерений в памяти измерителя и передает их в ПК. Определение коэффициента температуропроводности a производили по известной формуле [1]. Измерение влажности объектов исследования производили посредством универсального влагомера с выносным щупом AMF038. Производитель AMTAST (США). Характеристики: диапазон измерения влажности: от 2 до 70 %; шаг измерения 0.5 %; погрешность ± 1 %; время измерения – менее 1 сек.; рабочая температура от -10 до 60 $^{\circ}\text{C}$; питание - батарея 1.5В, тип ААА. В измерении температуры применялся также тепловизор InfiRAY C210 с разрешением 256x192 пикселя, имеющий широкий температурный диапазон и степень защиты IP54.

Использованы методы теории теплопроводности, численные методы решения уравнений тепло- и массообмена, теория и методы математической обработки экспериментов. Обработку экспериментальных и необходимых данных производили с применением компьютерной техники и пакета Mathcad.

Результаты и обсуждение

Для измерения теплофизических свойств широко используются различные методы измерения и установки для их осуществления. В работе [2] разработана модель повышения температуры бесконечной среды с тепловым зондом, учитывающая конечный диаметр и удельную теплоемкость зонда. Для определения температуропроводности предлагается несколько термодатчиков в среде и несколько зондов. Также рассматривается снижение диффузии влаги до незначительного уровня.

В работе [3] характеристики тепло- и массопереноса гранул из люцерны необходимы для оптимизации охладителей свежеприготовленных гранул и для управления графиками хранения гранул в силосах и бункерах. Применяя уравнения массопереноса и теплопереноса второго порядка в цилиндрических координатах, данные по поглощению и десорбции влаги использовались для оценки коэффициента диффузии влаги как функции содержания влаги в гранулах, а данные о скорости нагрева использовались для оценки тепловых свойств (теплопроводность и удельная теплоемкость) в зависимости от температуры гранул. Лучшие оценки были получены, когда коэффициент диффузии влаги гранул был экспоненциально связан с содержанием влаги по сравнению с линейной зависимостью между коэффициентом диффузии влаги и содержанием влаги. Хорошее соответствие экспериментальным данным по скорости нагрева было получено, когда теплопроводность и удельная теплоемкость гранул были линейно связаны с температурой. В диапазоне температур от 2 до 110 °С расчетная теплопроводность частиц и удельная теплоемкость гранул находились в диапазоне от 0,04 до 0,19 Вт/м·К и от 962 до 2114 Дж/кг·К соответственно.

В работе [4] искусственные нейронные сети (ИНС) и традиционные регрессионные модели были разработаны для прогнозирования тепловых свойств жмыха сладкого сорго в зависимости от содержания влаги и комнатной температуры. Прогнозы были сделаны для трех тепловых свойств: теплопроводности, объемной теплоемкости и температуропроводности. Каждое тепловое свойство имело пять уровней содержания влаги (8,52 %, 12,93 %, 18,94 %, 24,63 % и 28,62 %, по весу) и комнатную температуру в качестве входных данных. Данные были разделены на части для обучения, тестирования и проверки моделей. Графики прогнозирования тепловых свойств показали, что модели ИНС имеют лучшую точность по невидимым закономерностям по сравнению с регрессионными моделями.

В работе [5] теплопроводность, диффузионная способность, относительная диэлектрическая проницаемость, удельная теплоемкость и свойства при растяжении композитов сизаль/полиэфир были исследованы в зависимости от объемной доли волокна и модификации поверхности волокна. Композиты были приготовлены методом трансферного формования смолы. Волокна сизаля подвергались различным модификациям, таким как нагрев при 100 °С, обработка перманганатом, бензоилирование и силанизация для улучшения межфазного связывания с матрицей. Использование обработки NaOH и силаном снизило теплопроводность. Помимо этого, сообщалось о сравнении диэлектрических, механических и тепловых характеристик композитов. Для необработанных систем также показана линейная

зависимость относительного изменения диэлектрической проницаемости, модуля Юнга и теплопроводности.

В работе [6] исследование было направлено на определение корреляции между термическими свойствами и содержанием эргостерола в зерне ячменя. Тепловые параметры, включая теплопроводность, удельное тепловое сопротивление, объемную теплоемкость и температуропроводность, исследовали с помощью анализатора тепловых свойств KD2 Pro с двухиглолчатым датчиком SH-1. Два метода термического анализа, дифференциальная сканирующая калориметрия и термогравиметрический анализ, были дополнительно применены для определения термических свойств зерна. Между содержанием эргостерола и теплопроводностью, объемной теплоемкостью и площадью под кривой была отмечена значимая положительная линейная корреляция, а между содержанием эргостерола и термическим сопротивлением и вторым и третьим эндотермическими пиками фазового перехода была отмечена отрицательная корреляция. Наибольшее значение коэффициента корреляции (0,96) установлено между соотношением содержания эргостерола и теплопроводностью.

В работе [7] использование сгущенного экстракта при производстве кукурузных кормов способствует повышению их пищевой и биологической ценности. Реологические свойства исходного материала имеют большое значение при механическом взаимодействии с рабочими органами машин, при движении вязких сред по технологическим конвейерам, а также при интенсификации теплообменных процессов. Исследованы вязкостные свойства кукурузного экстракта в зависимости от температуры. Показано, что при понижении температуры вязкость кукурузного экстракта увеличивается за счет агрегации его компонентов, что характеризует неньютоновское течение экстракта. Определены и исследованы удельная теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность экстракта и кукурузного корма. Выявлено, что зависимости теплофизических параметров экстракта и кукурузного корма от содержания сухих веществ носят нелинейный характер, монотонно снижаясь при увеличении концентрации сухих веществ.

В работе [8] четыре образца маточного молочка, поставленные разными дистрибьюторами, были охарактеризованы с помощью фотопироэлектрической (PPE) калориметрии. Температуропроводность была получена в задней конфигурации PPE путем выполнения сканирования толщины образца фазы сигнала PPE. Для всех исследованных образцов были получены близкие значения всех статических и динамических тепловых параметров. Дополнительные измерения фазовых переходов проводились в конфигурации с передним защитным кожухом в диапазоне температур от $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результаты разделились: в двух образцах наблюдался

только один фазовый переход из твердого состояния в жидкое первого порядка, а два других претерпели два фазовых перехода, что указывает на сосуществование двух разных фаз, которые, вероятно, представляли собой свободную и связанную воду.

В работе [9] исследовались сорта семян аджвана с содержанием влаги 8, 12, 16 и 20 % в пересчете на сухую массу. Температуропроводность семян уменьшалась с увеличением влажности. Теплопроводность и удельная теплоемкость показали заметное увеличение с увеличением содержания влаги. Сортовые различия между семенами аджвана сортов АА-1, АА-2 и АА-93 также изучались при 5 % уровне значимости. Между тремя разновидностями аджвана, а именно АА-1, АА-2 и АА-93, наблюдались значительные различия в отношении их физических и термических свойств. Физические и термические свойства семян аджвана будут полезны при разработке процессов и оборудования, необходимых для его переработки. Эти свойства дают подробную информацию о качестве семян, их приемлемости для потребителей и поведении аджвана после производства, во время хранения и потребления и после потребления. Знание физических свойств, таких как размер семян, форма, объем, площадь поверхности, масса, плотность, пористость, помогает в разработке систем разделения, хранения, обработки и сушки. Плотность и пористость семян аджвана помогут определить размеры бункеров и контейнеров для хранения. Плотность семян также будет играть роль при разделении по плотности или удельному весу. Термические свойства семян аджвана будут полезны при анализе и проектировании оборудования, связанного с теплопередачей, например, в случае стерилизации и сушки.

В работе [10] изучалось влияние влажности (7, 10, 13, 16 и 19 %) (влажная основа) семян *Cassia tora* L. на тепловые свойства (удельная теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность). Результаты показали, что существовали значительные различия в тепловых свойствах из-за различного содержания влаги и температуры. Эти данные полезны при проектировании высокоэффективных машин и механизмов.

В работе [11] используется усредненная по фазе многорежимная многомасштабная модель с локальным масштабом, коэффициентами переноса и дисперсии, зависящими от потока и свойств, для изучения поведения воспламенения и затухания каталитического сжигания обедненной смеси водорода в монолитном реакторе. Изучалось влияние теплопроводности подложки на характеристики воспламенения-гашения. Результаты всестороннего анализа используются для представления рекомендаций по проектированию и увеличению масштабов монолитных реакторов для осуществления каталитического сжигания обедненной смеси водорода.

В работе [12] для оценки влияния одиночных и смешанных нефтяных загрязнителей на теплофизические свойства грунтов были проанализированы образцы загрязненного верхнего слоя почвы (0-30 см) и незагрязненной почвы (контроль) из двух точек. Результаты показали незначительное влияние загрязняющих веществ на текстурный класс загрязненных почв. Самые высокие и самые низкие значения среднего удельного сопротивления почвы были обнаружены в почвах, загрязненных бензином и смесью поверхностно-активных веществ. Наименьшие значения средней удельной теплоемкости, теплоемкости и коэффициента диффузии почвенной воды выявлены в почвах, загрязненных смешанными поверхностно-активными веществами-загрязнителями.

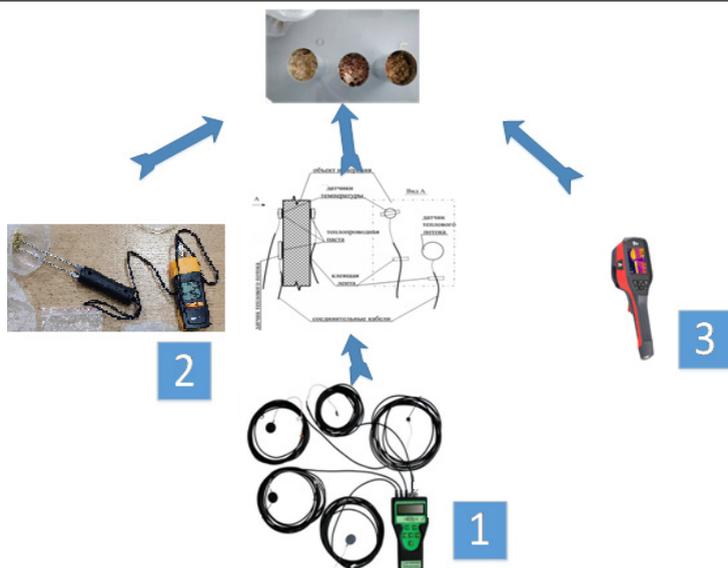
Исходя из вышеизложенного, важным является исследование теплофизических свойств имеющегося сырья и используемой готовой продукции. Целью исследования является получение эмпирических зависимостей коэффициентов теплопроводности и температуропроводности для кормовой муки животного происхождения и сырья для ее приготовления, то есть шквары, в зависимости от разности температуры.

Для получения теплофизических характеристик материала необходимо было определить тепловой поток через исследуемые материалы (сырье в виде шквары и кормовая мука животного происхождения) и далее с помощью теплового потока вычислить коэффициенты теплопроводности λ и температуропроводности a . Плотность теплового потока (q) вычисляли по формуле:

$$q = K \cdot E, \quad (1)$$

где q – плотность теплового потока, Вт/м²; K – коэффициент преобразования, Вт/(м²·мВ); E - величина термоэлектрического сигнала, мВ.

Схема порядка проведения эксперимента приведена ниже на рисунке 1. Порядок действий во время измерения и условия: датчики были установлены по выше указанной схеме и были проведены замеры в нормальных условиях при температуре 20 °С и атмосферном давлении 101,4 кПа.



1 - измеритель плотности теплового потока и температуры ИТП-МГ4.03/5(III) «ПОТОК»; 2 - универсальный влагомер с выносным щупом AMF038; 3 - тепловизор InfiRAY C210 с разрешением 256x192 пикселя

Рисунок 1 – Принципиальная схема размещения приборов и проведения экспериментов

В результате проведения серии экспериментальных работ получены данные, представленные в таблицах 1–2.

Таблица 1 – Экспериментальные данные сырья (шквары)

Объект исследования	Шквара				
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Измерения					
Температура наружная, °С	28,60	27,90	28,20	26,60	27,10
Температура внутренняя, °С	24,10	24,20	24,50	24,50	24,60
Тепловой поток, Вт/м ²	4,90	3,10	2,70	2,20	2,20
Толщина, м	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
Разница температуры, °С /К	4,50	3,70	3,70	2,10	2,50
Теплопроводность Вт/(м·К)	0,1307	0,1005	0,0876	0,1257	0,1056

Таблица 2 – Экспериментальные данные кормовой муки животного происхождения

Объект исследования	Кормовая мука животного происхождения					
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Измерения						
Температур наружная, °С	28,90	29,60	30,20	28,10	29,80	29,30
Температура внутренняя, °С	25,00	25,00	25,90	25,70	25,20	25,10
Тепловой поток, Вт/м ²	2,80	2,80	2,90	1,60	3,20	3,30
Толщина, м	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120	0,120
Разница температуры, °С /К	3,90	4,60	4,30	2,40	4,60	4,20
Теплопроводность Вт/(м·К)	0,0862	0,0730	0,0809	0,0800	0,0835	0,0943

Полученные данные были обработаны и на основе их были построены следующие графики (рисунки 2–3). Результаты измерений находятся в допустимых пределах в соответствии с нормами работы приборов.

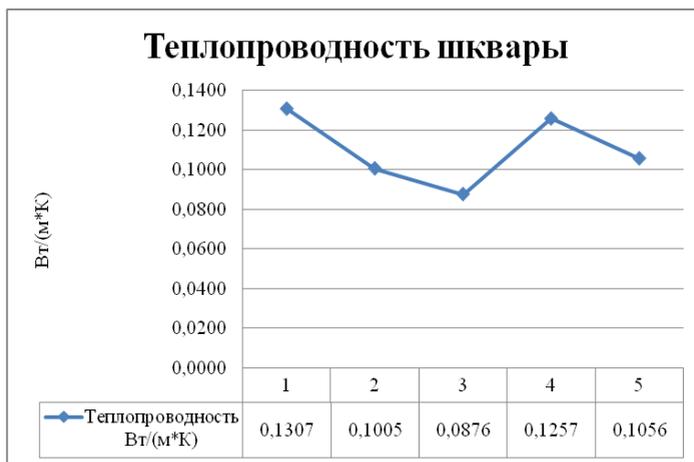


Рисунок 2 – Теплопроводность сырья (шквары)

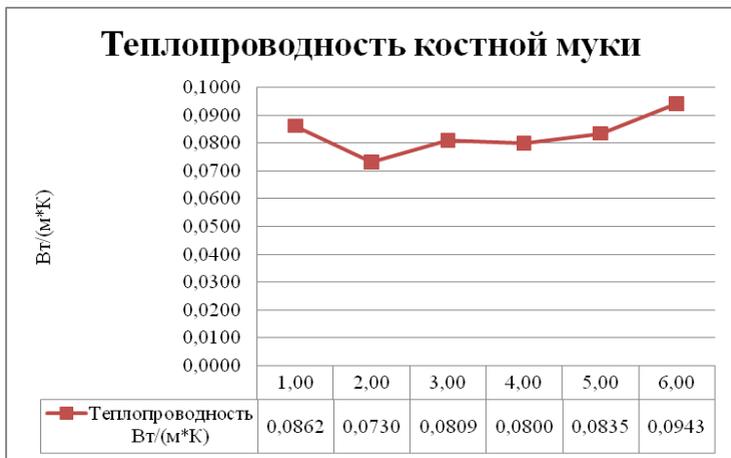


Рисунок 3 – Теплопроводность кормовой муки животного происхождения

Согласно экспериментальным данным (таблица 1) и их обработки получена эмпирическая зависимость коэффициента теплопроводности для сырья (шквары) в зависимости от разности температуры:

$$\alpha = 0,019t^2 - 0,082t + \frac{0,667}{1+t}, \tag{2}$$

Графически данная эмпирическая зависимость представлена на рисунке

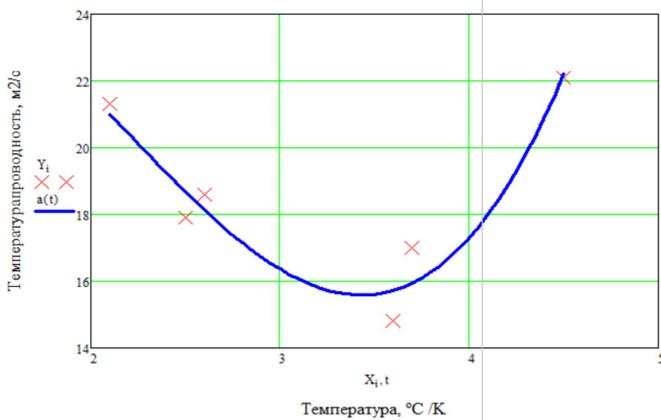


Рисунок 4 – Эмпирическая зависимость коэффициента теплопроводности для сырья (шквары) в зависимости от разности температуры

На основе экспериментальных данных (таблица 2), получена эмпирическая зависимость коэффициента теплопроводности для кормовой муки животного происхождения в зависимости от разности температуры:

$$\alpha = -0,011t^2 + 0,071t - \frac{0,091}{1+t}, \quad (3)$$

Графически данная эмпирическая зависимость представлена в соответствии с рисунком 5.

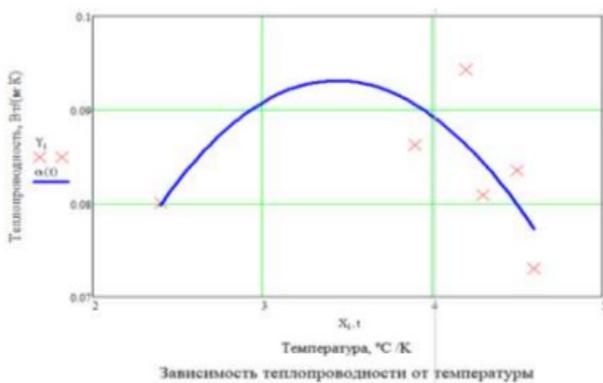


Рисунок 5 – Эмпирическая зависимость коэффициента теплопроводности для кормовой муки животного происхождения в зависимости от разности температуры

Существенная разница коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры для двух материалов объясняется разными структурными строениями сырья (шквары) и кормовой муки животного происхождения.

Как известно, коэффициент температуропроводности характеризует теплоинерционные свойства кормовых продуктов и сырья для их приготовления. Коэффициент температуропроводности a определяли по формуле [1]:

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

где c – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность материала кг/м³.

Плотность сырья (шквары) для расчетов приняли 1000 кг/м³, как среднее значение на основании источника [1]. Удельная теплоемкость при температуре 20 °С – 583 Дж/(кг·К). Результаты расчетов температуропроводности сведены в таблицы 3-4.

Таблица 3 – Результаты расчетов температуропроводности сырья (шквары)

Объект исследования	1. Сырье (шквара)				
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Измерения	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Теплопроводность Вт/(м·К)	0,1307	0,1005	0,0876	0,1257	0,1056
Температуропроводность, м ² /с	22,1	17,0	14,8	21,3	17,9

Плотность кормовой муки животного происхождения приняли, как насыпную после мелкого дробления 880 кг/м³ [13]. Удельная теплоемкость кормовой муки при температуре 20 °С – 1717 Дж/(кг·К) [14-15].

Таблица 4 – Результаты расчетов температуропроводности кормовой муки животного происхождения

Объект исследования	Кормовая мука животного происхождения					
	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Измерения	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Теплопроводность Вт/(м·К)	0,0862	0,0730	0,0809	0,0800	0,0835	0,0943
Температуропроводность, м ² /с	5,7	4,8	5,4	5,3	5,5	6,2

Теплопроводность кормового сырья (шквары) принята как среднее полученное значение по результатам эксперимента 0,1100 Вт/(м·К). Средняя температуропроводность для сырья (шквары) будет:

$$\alpha = \frac{0,1100}{583 \cdot 1000} = 18,6 \cdot 10^8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Теплопроводность кормовой муки животного происхождения принимается как среднее полученное значение по результатам эксперимента 0,0830 Вт/(м·К). Средняя температуропроводность для кормовой муки животного происхождения будет:

$$\alpha = \frac{0,0830}{1717 \cdot 880} = 5,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Согласно экспериментальным данным (таблица 3) и их обработки получена эмпирическая зависимость коэффициента температуропроводности для сырья (шквары) в зависимости от разности температуры:

$$a = 4,724t^{2,5} - 19,4t^{1,8} + 38,415t^{0,7} \quad (5)$$

Графически данная эмпирическая зависимость представлена в соответствии с рисунком 6.

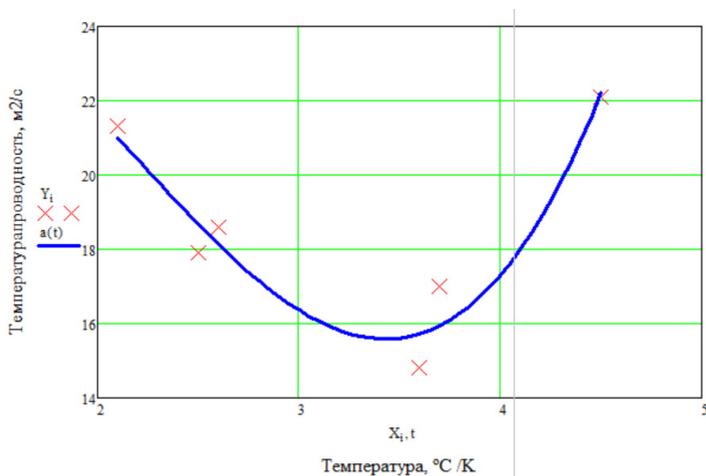


Рисунок 6 – Эмпирическая зависимость коэффициента температуропроводности для сырья (шквары) в зависимости от разности температуры

Согласно экспериментальным данным (таблица 4) и их обработки получена эмпирическая зависимость коэффициента температуропроводности для кормовой муки животного происхождения в зависимости от разности температуры:

$$a = -0,53t^{2,5} + 1,828t^{1,8} + 2,82t^{-1} \quad (6)$$

Графически данная эмпирическая зависимость представлена в соответствии с рисунком 7.

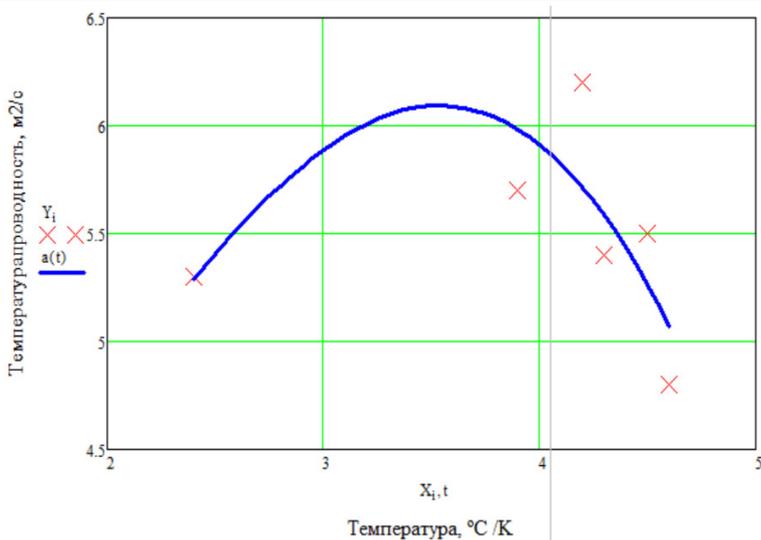


Рисунок 7 - Эмпирическая зависимость коэффициента температуропроводности для кормовой муки животного происхождения в зависимости от разности температуры

Согласно экспериментальным данным источника [16], получена полиномиальная регрессионная формула зависимости коэффициента теплопроводности для шквары от влажности с помощью пакета Mathcad

$$\lambda = -8,608 \cdot 10^{-6} W^3 + 6,716 \cdot 10^{-4} W^2 - 0,015 W + 0,224. \quad (7)$$

Графически данная зависимость представлена в соответствии с рисунком 8.

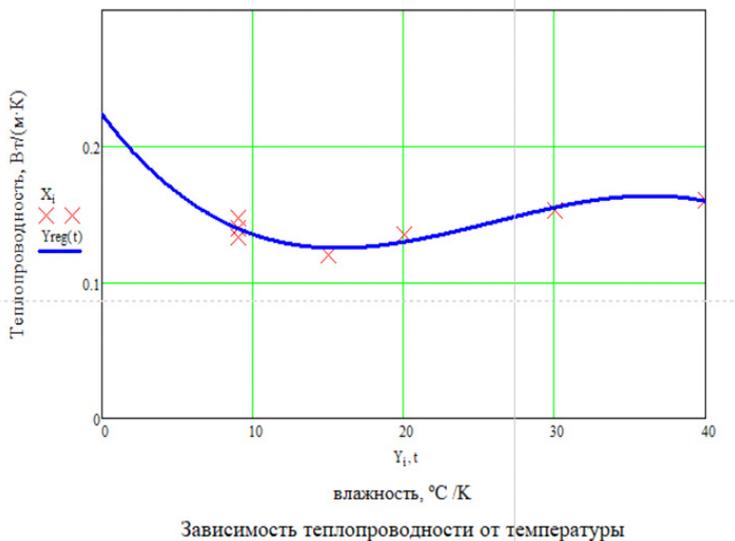


Рисунок 8 - Зависимость коэффициента теплопроводности для шквары от влажности

На основе полученных данных был проведен сравнительный анализ теплопроводности и температуропроводности с источником [16] по теплофизическим характеристикам шквары в зависимости от влажности и температуры нагрева. Шкваре свойственно снижение коэффициента температуропроводности с увеличением влажности. В результате сравнения полученных нами экспериментальных данных и данных по источнику [16], можно сделать вывод, что результаты эксперимента с обработанными данными разнятся в 10% процентном соотношении по шкваре. Данные, полученные во время эксперимента по кормовой муке животного происхождения в сравнении с другими источниками [15] незначительно разнятся, что связано с изменениями конкретно применяемого сырья для приготовления кормовой муки, части сырья и их состояния, изменениями их удельной теплоемкости и плотности.

Информация о финансировании

Данная работа является результатом, полученным в ходе реализации проекта ИРН № AP09259673, финансируемого в рамках грантового финансирования от Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Выводы

В результате серии экспериментов были получены данные теплопроводности шквары и кормовой муки животного происхождения, на основе которых были построены эмпирические зависимости. Среднее значение теплопроводности по данным исследования составило для шквары $\lambda=0,1100$ Вт/(м·К), кормовой муки животного происхождения $\lambda=0,0830$ Вт/(м·К) соответственно. Получены расчетные данные температуропроводности шквары и кормовой муки животного происхождения. Среднее значение температуропроводности для шквары при плотности 1000 кг/м³ и удельной теплоемкости при температуре 20°C – 583 Дж/(кг·К) составило $a=18,6 \cdot 10^8$ м²/с. Среднее значение температуропроводности для кормовой муки животного происхождения при плотности 880 кг/м³ и удельной теплоемкости при температуре 20 °C – 1717 Дж/(кг·К) составило $a=5,5 \cdot 10^8$ м²/с.

Согласно экспериментальным данным и их обработки получены эмпирические зависимости коэффициентов теплопроводности и температуропроводности для сырья (шквары) и кормовой муки животного происхождения в зависимости от разности температуры. Существенная разница коэффициента теплопроводности в зависимости от температуры для двух материалов объясняется разными структурными строениями сырья (шквары) и кормовой муки животного происхождения. Шкваре свойственно снижение коэффициента температуропроводности с увеличением влажности.

Таким образом ясно, что режим работы устройства для сушки при движении высушиваемых частиц по секциям сушки-измельчения и сушки-перемешивания зависит от влагосодержания в перерабатываемом объекте. Выявлено, что при понижении влаги в перерабатываемом объекте снижается коэффициент теплопроводности и следовательно следует повышать температуру нагрева до высоких температур в зависимости от длительности сушки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Гинзбург, А. С., Громов, М. А., Красовская, Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. Справочник. Москва: «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

2 Casada, M. E.; Walton, L. R. New Model for Determining Thermal-Diffusivity with the Thermal Probe // «Transactions of the Asabe» – 1989. – 32(3). – P. 973–976.

3 Fasina, O.; Sokhansanj, S. Estimation of Moisture Diffusivity Coefficient and Thermal Properties of Alfalfa Pellets // «Journal of Agricultural. – Engineering Research». – 1996. – 63(4). – P. 333–343. – DOI10.1006/jaer.1996.0036/.

4 **Gosukonda, R., Mahapatra, A. K., Ekefre, D., Latimore, M. Jr.** Prediction of Thermal Properties of Sweet Sorghum Bagasse as a Function of Moisture Content Using Artificial Neural Networks and Regression Models // «Acta Technologica Agriculturae». – 2017 – 20(2). – P. 29–35. – DOI10.1515/ata-2017-0006).

5 **Sreekumar, P. A., Agoudjil, B., Boudenne, A., Unnikrishnan, G., Ibos, L., Fois, M., Thomas, S.** Transport Properties of Polyester Composite Reinforced with Treated Sisal Fibers // «Journal of Reinforced Plastics and Composites», 2012 – 31(2). – P. 117-127. – DOI 10.1177/0731684411431971.

6 **Ropelewska, E.** Relationship of Thermal Properties and Ergosterol Content of Barley Grains // «Journal of Cereal Science». – 2018. – 79. – P. 328–334. DOI 10.1016/j.jcs.2017.11.018.

7 **Ulyanov, V., Utolin, V., Luzgin, N., Krygin, S., Parshina, M.** Studying Physical and Mechanical Characteristics of Corn Feed // International Scientific-Practical Conference – Agriculture and Food Security : Technology, Innovation, Markets, Human Resource – 2020. – 17. – Номер статьи 00209. – DOI10.1051/bioconf/20201700209.

8 **Margaoan, R., Tripson, C., Bobis, O., Bonta, V., Dadarlat, D.** Coexistence of Phases in Royal Jelly Detected by Photopyroelectric Calorimetry // «Analytical Letters». – 2021. – 54(1-2). – P. 3–16. DOI 10.1080/00032719.2019.1700269.

9 **Singh, H., Meghwal, M.** Physical and Thermal Properties of Various Ajwain (*Trachyspermum ammi* L.) Seed Varieties as a Function of Moisture Content // «Journal of Food Process Engineering» – 2020. – 43(2). – Номер статьи e13310 – DOI 10.1111/jfpe.13310.

10 **Peng, F., Fang, F., Xiang, R., Liu, D.** Engineering Properties of Cassia Tora L. Seeds and Meal as a Function of Moisture Content // «Scientific Reports». – 2022– 12(1). – номер статьи 8651. – DOI 10.1038/s41598-022-12748-7.

11 **Sarkara, B., Ratnakar, R. R., Balakotaiah, V.** Bifurcation Analysis of Catalytically Assisted Hydrogen Combustion in Monolith Reactors // «Chemical Engineering Journal». – 2021. – 425, номер статьи 130318. – DOI 10.1016/j.ces.2021.130318.

12 **Ganiyu, S. A., Olurin, O. T., Morakinyo, D. O., Olobadola, M. O., Rabi, J. A.** Physico-Chemical and Thermal Characteristics of Sandy Loam Soils Contaminated by Single and Mixed Pollutants (Mineral and Vegetable Oils) // «Environmental Monitoring and Assessment». – 2022 – 194(6) – номер статьи 454 – DOI10.1007/s10661-022-10126-4.

13 <https://www.fao.org/3/S4314E/s4314e0q.htm> Göhl (1981), Pfof and Pickering (1976), ADCP (1980) Appendix XI: Bulk – [Electronic resource] Density, Pelletability and Particle Size.

14 **Kaminski, E., Mulka, C., Tylzanowsld, J.** Ciepło włakiwe niektórych produktów paszowych // «Biul. Inf. Przem. Pasz.», 1974; 1. – P. 34–39.

15 Niesteruk, R. Thermophysical Properties of Feed Meals // «Institute of Mechanics», 1993; 399. – P. 163–166.

16 **Федоров, В. П., Шубенко, Б. П., Ельченко, В. М., Олиевская, А. Н., Сосновский, В. И.** Теплофизические свойства влажной шквары // «Пищевая промышленность», 1973; 7. – С. 41–42.

REFERENCES

1 **Ginzburg, A. S., Gromov, M. A., Krasovskaya, G. I.** Teplofizicheskiye kharakteristiki pishchevykh produktov [Thermophysical characteristics of food products]. Directory. Moscow: «Pishchevaya promyshlennost'», 1980. – 288 p.

2 **Casada, M. E.; Walton, L. R.** New Model for Determining Thermal-Diffusivity with the Thermal Probe // «Transactions of the Asabe», 1989; 32(3). – P. 973-976.

3 **Fasina, O.; Sokhansanj, S.** Estimation of Moisture Diffusivity Coefficient and Thermal Properties of Alfalfa Pellets // «Journal of Agricultural Engineering Research», 1996; 63(4). – P. 333-343. DOI10.1006/jaer.1996.0036/.

4 **Gosukonda, R., Mahapatra, A. K., Ekefre, D., Latimore, M. Jr.** Prediction of Thermal Properties of Sweet Sorghum Bagasse as a Function of Moisture Content Using Artificial Neural Networks and Regression Models // «Acta Technologica Agriculturae», 2017; 20(2). – P. 29–35. DOI10.1515/ata-2017-0006).

5 **Sreekumar, P. A., Agoudjil, B., Boudenne, A., Unnikrishnan, G., Ibos, L., Fois, M., Thomas, S.** Transport Properties of Polyester Composite Reinforced with Treated Sisal Fibers // «Journal of Reinforced Plastics and Composites», 2012; 31(2). – P. 117–127. DOI10.1177/0731684411431971.

6 **Ropelewska, E.** Relationship of Thermal Properties and Ergosterol Content of Barley Grains // «Journal of Cereal Science», 2018; 79. - P. 328-334. DOI10.1016/j.jcs.2017.11.018.

7 **Ulyanov, V., Utolin, V., Luzgin, N., Krygin, S., Parshina, M.** Studying Physical and Mechanical Characteristics of Corn Feed // International Scientific-Practical Conference – Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resource, 2020, 17, Номер статьи 00209 DOI10.1051/bioconf/20201700209.

8 **Margaon, R., Tripon, C., Bobis, O., Bonta, V., Dadarlat, D.** Coexistence of Phases in Royal Jelly Detected by Photopyroelectric Calorimetry // «Analytical Letters», 2021; 54(1-2). – P. 3-16. DOI10.1080/00032719.2019.1700269.

9 **Singh, H., Meghwal, M.** Physical and Thermal Properties of Various Ajwain (*Trachyspermum ammi* L.) Seed Varieties as a Function of Moisture Content // «Journal of Food Process Engineering», 2020 – 43(2), Номер статьи e13310 DOI 10.1111/jfpe.13310.

10 **Peng, F. Fang, F., Xiang, R., Liu, D.** Engineering Properties of Cassia Tora L. Seeds and Meal as a Function of Moisture Content // «Scientific Reports», 2022. – 12(1), номер статьи 8651. DOI 10.1038/s41598-022-12748-7.

11 **Sarkara, B., Ratnakar, R.R., Balakotaiah, V.** Bifurcation Analysis of Catalytically Assisted Hydrogen Combustion in Monolith Reactors // «Chemical Engineering Journal», 2021– 425, номер статьи 130318. DOI 10.1016/j.cej.2021.130318.

12 **Ganiyu, S. A., Olurin, O. T., Morakinyo, D. O., Olobadola, M. O., Rabi, J. A.** Physico-Chemical and Thermal Characteristics of Sandy Loam Soils Contaminated by Single and Mixed Pollutants (Mineral and Vegetable Oils) // «Environmental Monitoring and Assessment», 2022; 194(6), номер статьи 454, DOI 10.1007/s10661-022-10126-4.

13 <https://www.fao.org/3/S4314E/s4314e0q.htm> Göhl (1981), Pfof and Pickering (1976), ADCP (1980) Appendix XI: Bulk Density, [Electronic resource] Pelletability and Particle Size.

14 **Kaminski, E., Mulka, C., Tylzanowsld, J.** Ciepło włakiwe niektórych produktów paszowych // «Biul. Inf. Przem. Pasz.», 1974; 1. – P. 34–39.

15 **Niesteruk, R.** Thermophysical Properties of Feed Meals // «Institute of Mechanics», 1993; 399. – P. 163–166.

16 **Fedorov, V. P., Shubenko, B. P., Elchenko, V. M., Olievskaya, A. N., Sosnovsky, V. I.** Teplofizicheskiye svoystva vlazhnoy shkvary [Thermophysical characteristics of food products]. // Pishchevaya promyshlennost', 1973; 7. – P. 41-42.

Материал поступил в редакцию 13.03.23.

**P. M. Искаков¹, С. С. Исеилов¹, А. К. Мерғалимова¹,*

И. К. Мамырбаева¹, С. Ыбрай¹

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Материал баспаға 13.03.23 түсті.

КЕПТІРУ ПРОЦЕСІНЕ АРНАЛҒАН ЖАНУАР ТЕКСІЗІНДЕГІ АЗЫҚ ОРНЫНЫҢ ТЕРМОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада мал азығы мен мал азығы түріндегі шикізаттың жылу өткізгіштік және жылу диффузиялық коэффициенттерін анықтау бойынша зерттеулер қарастырылған. Зерттеуге сәйкес жылу өткізгіштіктің орташа мәні майлы дақылдар үшін $\lambda = 0,1100 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, мал азығы үшін $\lambda = 0,0830 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ болды. Тығыздығы $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ және $20 \text{ }^\circ\text{C} - 583 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ температурадағы меншікті жылудың орташа жылулық диффузиялық мәні $a = 18,6 \cdot 108 \text{ м}^2/\text{с}$ болды. Тығыздығы $880 \text{ кг}/\text{м}^3$ және $20 \text{ }^\circ\text{C} - 1717 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ температурадағы меншікті жылу сыйымдылығы жануарлардан алынатын азықтық ұн үшін жылу диффузияның орташа мәні $a = 5,5 \cdot 108 \text{ м}^2/\text{с}$ болды. Алынған тәжірибелік-есептік нәтижелер оларды математикалық және компьютерлік өңдеу арқылы температура айырмашылығына байланысты мал азықтық ұн мен майлық үшін жылу өткізгіштік және жылу диффузиялық коэффициенттерінің эмпирикалық тәуелділіктерін алуға мүмкіндік берді. Қабыршақтар туралы әдебиеттер деректерін талдау негізінде жабындар үшін жылу өткізгіштік коэффициентінің ылғалдылыққа тәуелділігінің полиномды регрессия формуласы алынды және оның графикалық тәуелділігі салынды. Кептіру құрылысының жұмыс режимі, оның ішінде бір мезгілде ұнтақтау мен араластыру өңделетін объектінің ылғалдылығына байланысты екені анықталды. Өңделетін объектіде ылғалдың азаюымен жылу өткізгіштік коэффициенті төмендейтіні анықталды, демек, термиялық кептіру ұзақтығына байланысты қыздыру температурасын жоғары температураға дейін арттыру керек.

Кілтті сөздер: термофизикалық сипаттамалар, жылу өткізгіштік, жылу диффузиялық қасиеті, мал азығы, азық.

*R. M. Iskakov¹, S. S. Issenov², A. K. Mergalimova³,

I. K. Mamyrbayeva⁴, S. Ybrai⁵

^{1,2,3,4,5}S. Seifullin, Kazakh Agrarian Technical University

Republic of Kazakhstan, Astana.

Material received on 13.03.23

STUDY OF THE THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF FEED MEAL OF ANIMAL ORIGIN AND GREAVES FOR THE DRYING PROCESS

The article deals with studies on determining the coefficients of thermal conductivity and thermal diffusivity for raw materials in the form

of greaves and fodder meal from greaves. The average value of thermal conductivity according to the study was for greaves $\lambda=0.1100 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, fodder meal of animal origin $\lambda=0.0830 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. The average value of thermal diffusivity for greaves at a density of 1000 kg/m^3 and specific heat at a temperature of $20 \text{ }^\circ\text{C} - 583 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ was $a=18.6\cdot 108 \text{ m}^2/\text{s}$. The average value of thermal diffusivity for fodder flour of animal origin at a density of 880 kg/m^3 and specific heat capacity at a temperature of $20 \text{ }^\circ\text{C} - 1717 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$ was $a=5.5\cdot 108 \text{ m}^2/\text{s}$. The obtained experimental and calculated results made it possible, through their mathematical and computer processing, to obtain empirical dependences of the coefficients of thermal conductivity and thermal diffusivity for fodder flour and greaves depending on the temperature difference. Based on the analysis of literature data on greaves, a polynomial regression formula for the dependence of the thermal conductivity coefficient for greaves on humidity was obtained and its graphical dependence was plotted. It has been established that the mode of operation of the drying device, including simultaneous grinding and mixing, depends on the moisture content in the object being processed. It was found that with a decrease in moisture in the processed object, the coefficient of thermal conductivity decreases and, therefore, the heating temperature should be increased to high temperatures, depending on the duration of thermal drying.

Keywords: thermophysical characteristics, thermal conductivity, thermal diffusivity, greaves, fodder meal.

Теруге 13.03.2023 ж. жіберілді. Басуға 31.03.2023 ж. кол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4039

Сдано в набор 13.03.2023 г. Подписано в печать 31.03.2023 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4039

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz