

УДК 641.53.095

Оценка теплофизических характеристик арахисового сырья

Канд. техн. наук **В.А. Парамонова**, vaparamonova@mail.ru

Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского
83000, г. Донецк (Украина), пр-т Театральный, 28

Канд. техн. наук **В.Н. Кудрявцев**, kudryavtsevvn@mail.ru

Университет ИТМО
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В статье проанализированы основные источники, дающие информацию о теплофизических характеристиках арахисового сырья и его обработке, а также отмечена недостаточная обоснованность применения существующих технологий. Приведены сведения об экспериментальных данных обработки арахисового сырья, определены теплофизические зависимости продукта в период обжарки, а также динамика изменения при обработке. Предложена модель для расчета характеристик продукта в зависимости от его начальной температуры, масличности и времени обработки. Установлено, что удельная теплоемкость арахисового сырья при изменении температуры от 20 до 80°C и масличности от 42 до 46%, находится в диапазоне от 1400 до 1800 Дж/(кг К). При этом необходимо учитывать как теплоемкость сухого продукта, так и динамику изменения теплоемкости влаги, которая находится внутри продукта и при обработке из него удаляется. Также определена удельная теплоемкость арахисового сырья как с учетом влажного компонента, так и без него. Для обеспечения более щадящего действия на продукт рекомендовано обеспечение таких режимов обработки, при которых учитывается динамика изменения теплоемкости арахисового сырья, что необходимо для качественной (без пригаров) обжарки.

Ключевые слова: микроволны; электромагнитное поле; СВЧ; теплоемкость; арахисовое сырье; температура; убыль массы; обжарка.

Performance evaluation of thermal raw peanut

Ph. D. **V.A. Paramonova**, vaparamonova@mail.ru

Donetsk national university of the economy and trading the name Mihaila Tugan-Baranovskogo
83000, Ukraine, Donetsk, pr-t Theatrical, 28

Ph. D. **V.N. Kudryavtsev**, kudryavtsevvn@mail.ru

ITMO University
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The article analyzes the main sources that provide information about the thermal characteristics of the raw material of peanut and its processing, and noted the lack of validity of the use of existing technologies. Data on experimental data processing raw peanut defined thermal dependence of the product during frying, as well as the dynamics of changes in processing. A model for calculation of the characteristics of the product, depending on its initial temperature, oil content and treatment time. It is found that the specific heat of raw peanut temperature varies from 20 to 80°C, and oil content of 42 to 46%, is in the range from 1400 to 1800 J/(kg K). When it is necessary to take into account the thermal capacity of the dry product and dynamics of changes in specific heat moisture which is inside the product and the processing thereof is removed. Also, the specific heat is defined as the raw peanut considering wet component and without it. For a more gentle action of the product is recommended to provide such treatment regimes that take into account the dynamics of change of the specific heat peanut raw materials, the need for high-quality (without of prigar) roasting.

Keywords: microwave electromagnetic field of the microwave, heat, peanut raw materials, temperature, mass loss, roasting.

В настоящее время при проектировании технологического оборудования для пищевой и перерабатывающей промышленности необходимо учитывать теплофизические свойства исходного сырья. Эти свойства имеют в условиях эксперимента и производства значительный разброс величин по масличности и температуре, что в свою очередь влияет на энергопотребление оборудования и качество конечного продукта. Одной из основных проблем стали неточные, а зачастую значительно различающиеся данные по теплофизическим свойствам пищевых продуктов. Поэтому встает вопрос о необходимости определения для каждого конкретного режима обработки теплофизические свойства для определенных продуктов. Это связано с необходимостью использования в условиях производства универсального оборудования, предназначенного для нескольких видов и типов продуктов.

В связи с постоянной модернизацией в кондитерской промышленности важным вопросом является проектирование нового технологического оборудования. Для успешной реализации этой задачи необходимо иметь достоверные данные по обрабатываемому продукту. Кондитерская промышленность по своей специфике использует огромное количество различных видов сырья, причем в связи с влиянием изменяющегося рынка, закупка даже одного вида сырья производится в различных регионах, что влияет на ряд теплофизических характеристик. Например, арахис закупается в основном в Китае и Турции. Закупаемый в разных странах арахис заметно отличается как по форме, размеру, так и по масличности. Использование сырья с различными показателями масличности приводит к значительному изменению технологического процесса. Также это оказывает влияние на процесс термической обработки, поскольку влияет на теплоемкость пищевого материала.

Целью данной статьи является обоснование параметров и выбора метода их определения для конкретного проектируемого оборудования.

Арахис является ценным сырьем для пищевой промышленности, известный под названиями китайский или земляной орех, земляная фисташка и др. Около 65% всего объема производства арахиса приходится на страны Азии, 25% на страны Африканского континента. Выращивают арахис также в странах Южной Америки и др. Для Европы это малораспространенная культура. Он относится к семейству бобовых рода *Arachis L.* Это однолетнее растение. Плод арахиса имеет ореховидное строение, снаружи покрытый скорлупой, внутри находится несколько семян, имеющих тонкую кожицу. Семена содержат примерно 40... 61% масла, 20...34% белка, 6...25% безазотистых экстрактивных веществ, значительное количество витаминов В₁ В₂, С, Е, РР и др., сравнительно немного клетчатки (2,0...4,3%) и минеральных веществ (до 5%) при влажности 6..8% [1, 2]. Арахис обладает высокой пищевой ценностью. Биологическая ценность растительных белков определяется содержанием в них аминокислот: цистеина, аргинина, гистидина, лизина, тирозина и триптофана. Безазотистые вещества арахиса состоят из сахара, крахмала и гемицеллюлозы; минеральные вещества – из фосфора и солей калия, кальция, магния и натрия.

Таким образом, пищевая ценность арахиса высока: высокое содержание витаминов и микроэлементов, большое количество жирных ненасыщенных кислот, полное отсутствие холестерина.

Арахис широко применяется при производстве различных кондитерских изделий: халвы, конфет, карамели с начинкой и др. Также арахис применяется при производстве пивных закусок. Изысканный вкус делают арахис незаменимым продуктом для полноценного и здорового питания.

Уборку урожая обычно осуществляют арахисоуборочными машинами (например, АП-70) [3]. После уборки бобы сразу же сушат, чтобы на них не появилась плесень. Сушка открытым способом до влажности 15% может продолжаться 2...6 недель в зависимости от погоды и состояния растений. Можно проводить и искусственную сушку нагреванием. Свежий боб арахиса имеет влажность от 25 до 50%, а после сушки в сушильных устройствах (бункерах) до 10% и ниже. Сушку арахиса следует проводить при щадящем температурном режиме, поскольку он является термолабильным продуктом.

Равномерность распределения влаги в арахисе после сушки позволяет длительно его хранить (4...5 лет) без заметного ухудшения качества. В высушенном арахисе физиологические процессы протекают крайне медленно, поскольку отсутствует свободная влага, способная участвовать в обмене веществ. Это обстоятельство тормозит развитие микроорганизмов, насекомых и клещей.

Основная масса влаги в арахисе удерживается физико-химической и физико-механической связями с такими основными частями, как белковые вещества, крахмал, сахара, пентозаны и клетчатка. И лишь незначительная часть воды находится в химической связи с алколоидами и красящими веществами [4].

Как известно, физико-химическая связь характеризуется двумя видами связи: адсорбционной и осмотической [5]. Адсорбционное связывание воды вызвано гидратацией белковыми веществами, крахмалом и сахарами. Осмотическое поглощение воды в основном характерно для белковых веществ и пентозанов, а при температуре выше 65°C также для крахмала. Физико-механическая связь удерживает влагу в макро- и микрокапиллярах клетчатки оболочки, эндоспермы и стенок клеток ядер. Все выше перечисленное затрудняет процесс термообработки орехов арахиса.

При тепловой обработке арахиса происходит удаление влаги и летучих кислот, улучшение вкуса, аромата и цвета орехов, белковые вещества частично переходят в растворимое состояние.

После обжарки, во избежание разложения масла, ядра должны быть сразу охлаждены до температуры не выше 50°C. Семена становятся хрупкими, легко измельчаются.

Для тепловой обработки арахиса используют периодические, полунепрерывные и непрерывнодействующие аппараты, отличающиеся температурным режимом, способом передачи теплоты, конструкцией и производительностью [6–13].

Сушилки периодического действия применяются в тех случаях, если продолжительность сушки составляет от 10 час до нескольких суток. Например, при вакуумной или сублимационной сушке, когда после окончания процесса, выгрузка сопряжена с изменением параметров среды в рабочем объеме сушильной камеры. Эти сушилки тяжело поддаются автоматизации, а попытки трансформировать процесс в непрерывный, приводят к значительному увеличению стоимости оборудования. К этому же типу сушилок относятся и такие, в которых одна партия сырья проходит обезвоживание при различных параметрах сушильного агента, или для загрузки сырья используются тележки, вагонетки и т.п. Конструктивно сушилки исполняют в виде камер различной геометрической формы. Достоинством этих сушилок является универсальность по отношению к природе и способу измельчения сырья. Недостатком – низкая производительность.

Устройства полунепрерывного действия, характеризуются большей производительностью и интенсивностью процесса, легче поддаются автоматизации. Это различные варианты сушилок с взвешенным или виброкипящим слоем, где сушка жидкого (пастообразного) сырья происходит на инертных материалах, варианты туннельных, шахтных и барабанных. Требование к периодичности определяется режимом работы предприятия, схемой движения сырья в рабочей камере, необходимостью замены отдельных элементов процесса (например, инертного материала).

Самыми яркими представителями сушилок непрерывного действия являются ленточные (конвейерные) и распылительные. Ленточные применяются, если продолжительность сушки материала заданной дисперсности составляет несколько часов, а распылительные – от нескольких секунд. Промежуточное положение занимают барабанные сушилки. Рациональность их применения для непрерывной работы определяется кинетикой сушки, поскольку материал обычно проходит длину барабана за несколько минут. Такие сушилки чаще всего используют для низковлажного, сыпучего сырья. Наибольшее распространение барабанные сушилки находят в сахарной промышленности, при сушке семян зерновых культур и при производстве комбикормов. Сушилки полупериодического

и непрерывного действия эксплуатируются на крупных предприятиях с централизованной поставкой сырья.

Все типы сушилок непрерывно модернизируются с целью снижения энергозатрат. Для чего используются солнечная энергия, тепловые насосы и другие системы трансформации энергии в теплоту (микроволновая энергия) или ее утилизация.

Для производства обжаренного арахиса оборудование формируется в производственные линии с завершённым циклом производства, в котором продукт последовательно проходит обработку в различных машинах без помощи оператора. Производительность данных линий – автоматов регулируется в трех диапазонах: 50...60, 100...140 и 180 кг/ч готовой продукции.

Основные преимущества линий – автоматов заключаются в следующем: лучше и стабильнее качество производимого продукта – его гораздо легче контролировать и прогнозировать, т.к. отсутствует человеческий фактор; себестоимость продукта меньше за счет уменьшения затрат по заработной плате и электроэнергии; производительность линий-автоматов значительно выше обычных аппаратов периодического действия; линии – автоматы удобны в эксплуатации т.к. сбои случаются гораздо реже из-за однообразности работы, а так же отсутствия операторов, которые не редко становятся причиной сбоев.

1. Технологический процесс линии – автомата производительностью 180 кг/час готовой продукции схематически представлен на рис. 1.

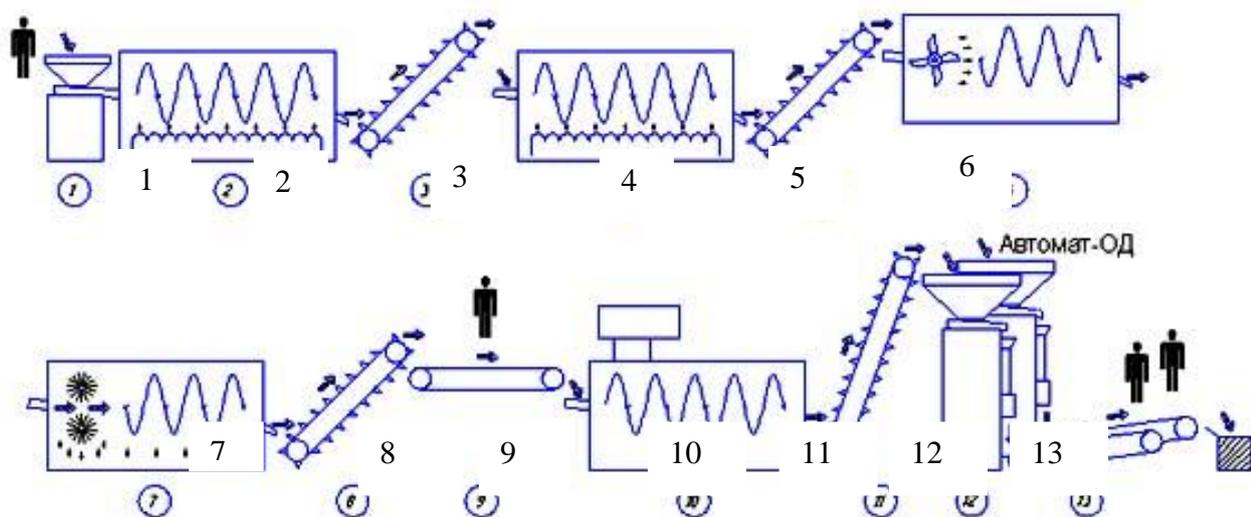


Рис. 1. Схема технологического процесса по обработке арахиса

Сырье (нечищенный арахис) загружают в дозатор 1 и равномерным потоком подают в барабанную печь 2 для просушки. После просушки продукт поступает через конвейер универсальный 3 в барабанную печь 4 и в ней уже жарится. Затем продукт через конвейер универсальный 5 подается в охладитель 6 и после подается в шелушильный автомат 7 для отделения продукта от шелухи. После очистки продукт подается через конвейер универсальный 8 на конвейер инспекционный 9, где контролер отбирает некачественный продукт. Далее продукт подается в дражировку поточную 10 для внесения различных специй и добавок. После дражировки поточной 10 продукт подается через конвейер подающий 11 в упаковочный автомат 12, где он автоматически расфасовывается в полипропиленовые упаковки. Расфасованный продукт поступает на конвейер, отводящий 13, после чего он складывается в ящики.

Производительность, кг/час	180
Потребл. мощ. по эл., кВт	52
Площадь (мин.), м ²	100

Общий вид линии – автомата для производства жареных орехов арахиса представлен на рис. 2.



Рис. 2. Общий вид линии – автомата для производства обжаренного арахиса

1. Линия производительностью 50...60 кг/час

Основные отличия от первой линии: продукт проходит жарку только в одной печи и отсутствует конвейер инспекционный. По работе: меньше производительность и немного хуже качество.

Производительность, кг/час	50...60
Потребл. мощ. по эл., кВт	30
Площадь (мин.), м ²	80

Схема технологического процесса производства обжаренного арахиса на линии – автомате производительностью 50...60 кг/ч готовой продукции представлена на рис. 3.

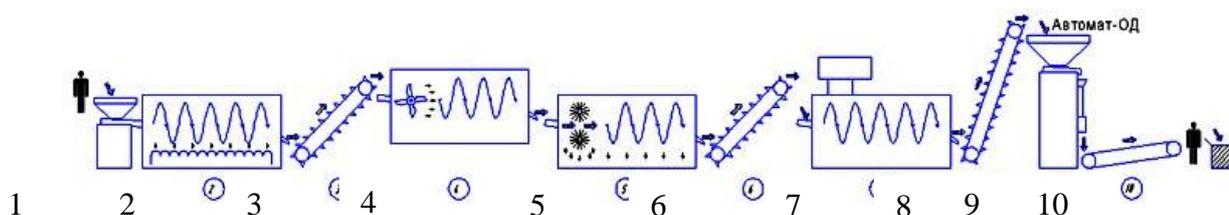


Рис. 3. Схема технологического процесса производства обжаренного арахиса на линии – автомате производительностью 50...60 кг/ч готовой продукции

2. Линия производительностью 100...140 кг/час

Основные отличия от первой линии: продукт проходит жарку во фритюрнице поточной 3. Для удаления из продукта фритюрного масла используется конвейер с подогревом 4.

Производительность, кг/час	100...140
Потребл. мощ. по эл., кВт	60
Площадь (мин.), м ²	100

Общий вид линии – автомата для производства обжаренных орехов арахиса с технологией обжарки во фритюре производительностью 100...140 кг/ч готовой продукции представлен на рис. 4.



Рис. 4. Общий вид линии – автомата для производства обжаренных орехов арахиса с технологией обжарки во фритюре производительностью 100...140 кг/ч готовой продукции

Схема технологического процесса производства обжаренного арахиса с обжаркой во фритюре на линии – автомате производительностью 100...140 кг/ч готовой продукции представлена на рис. 5.

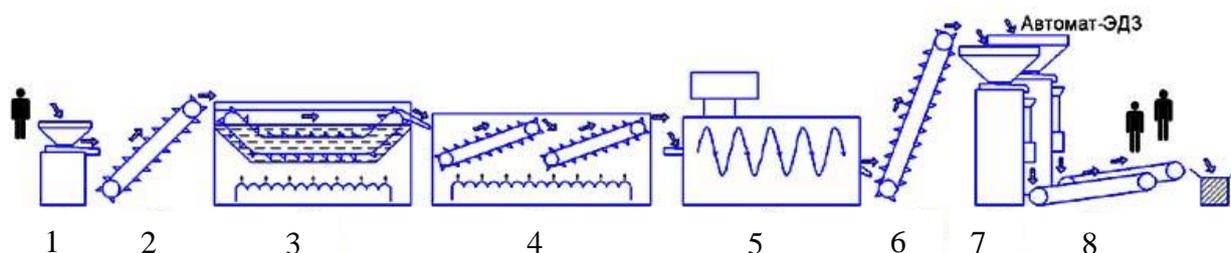


Рис. 5. Схема технологического процесса производства обжаренного арахиса с обжаркой во фритюрнице на линии – автомате производительностью 100...140 кг/ч готовой продукции

Приведенные выше данные свидетельствуют о большом разнообразии технологий производства обжаренных орехов арахиса. Среди протекающих процессов особо следует выделить теплообменные, то есть, процессы сушки, обжарки и охлаждения, которые в значительной степени определяют качество готовой продукции. Недостатком этих процессов является их продолжительность, в особенности при использовании в качестве сырья орехов арахиса с влажностью около 10%.

В связи с этим разработка новых высокоинтенсивных термических процессов представляет актуальную задачу.

Решение вопросов интенсификации неразрывно связано с конструктивными особенностями аппаратов, в которых протекают процессы.

Представлены различные линии по обработке арахисового сырья, однако качество получаемого продукта зачастую бывает крайне низкое. Это связано с неточным определением теплофизических

характеристик исходного сырья. Одной из основных таких характеристик является теплоемкость арахисового сырья.

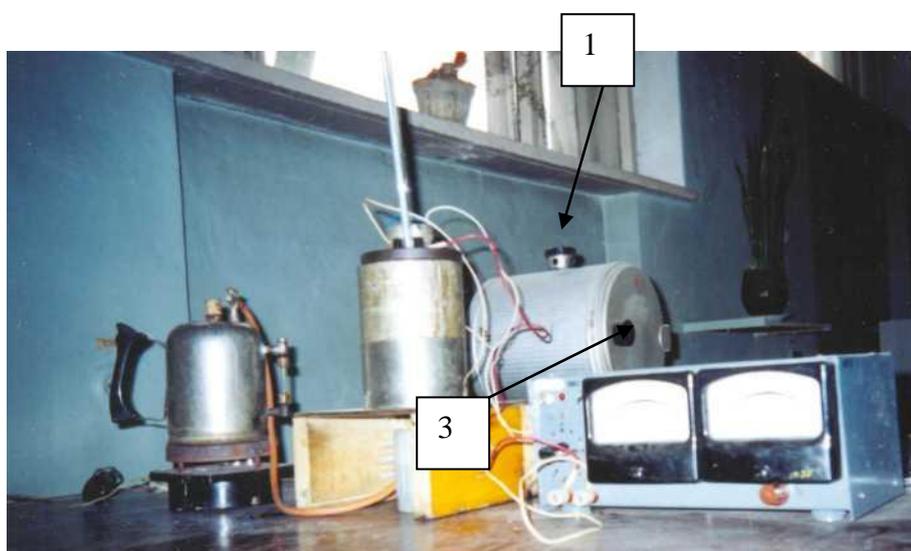
Определение теплоемкости арахисового сырья

Классификация методов определения теплофизических характеристик до настоящего времени не существует.

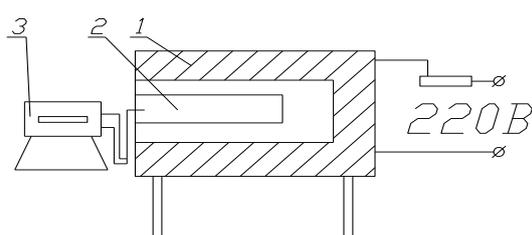
Для определения теплоемкости применяются: метод адиабатического калориметра, метод дифференциального микрокалориметра, метод смешения и калориметрический метод. Нами принят сравнительный метод, который обеспечивает достаточную точность и простоту в исследовании. Установка для определения теплоемкости орехов арахиса состоит из электрической печи 1 (рис. 6.), в которую помещают образец 2, имеющий форму цилиндра (из измельченного арахисового сырья, которому придается заданная форма) с образованным с одного конца каналом.

В этот канал помещают концы термопары. Температура образца определялась по показаниям милливольтметра 3 и градуировочному графику термопары.

А)



Б)



**Рис. 6. Установка для определения теплоемкости орехов арахиса:
А – внешний вид стенда; Б – принципиальная схема стенда**

Количество теплоты q , которое передается от среды с температурой t к среде с температурой t_0 в единицу времени через единицу поверхности (плотность потока теплоты) определялась формулой Ньютона

$$q = \alpha \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

где α – коэффициент внешней теплопроводности.

Через боковую поверхность образца S за время dt будет отдано образцом количество теплоты

$$qSdt = \alpha(t - t_0)Sdt. \quad (2)$$

Количество теплоты, теряемое образцом за время dt , может быть записано в виде

$$qSd\tau = -cmdt, \tag{3}$$

где m – масса образца, c – его удельная теплоемкость. Сравнивая выражения (2) и (3), получаем:

$$\alpha(t - t_0)Sd\tau = -cmdt, \tag{4}$$

Выражение (4) можно переписать в виде:

$$\frac{d(t - t_0)}{t - t_0} = -\frac{\alpha S}{cm} d\tau. \tag{5}$$

Будем считать, что величина $\left(-\frac{\alpha S}{cm}\right)$ не зависит от температуры. Это хорошо оправдывается при малых значениях разности $t(\tau) - t_0$. Интегрирование выражения (5) дает:

$$\ln(t(\tau) - t_0) = \ln(t_m - t_0) - \frac{\alpha S}{cm} \cdot \tau, \tag{6}$$

где t_0 - температура окружающей среды, t_m - максимальная температура образца.

Выражение (6) – это уравнение прямой линии в полулогарифмических координатах. Величина $\left(-\frac{\alpha S}{cm}\right)$ представляет собой тангенс угла φ наклона линии к оси времени.

Теплоемкость (c_1) определяли, используя вещество с известной теплоемкостью (c_2).

Если взять отношение угловых коэффициентов двух прямых и обозначить его через K , то получим

$$K = \frac{tg\varphi}{tg\varphi_{изв}}, \text{ или}$$

$$K = \frac{c_2 m_2}{c_1 m_1}, \tag{7}$$

откуда

$$c_1 = \frac{c_2}{K} \cdot \frac{m_2}{m_1}, \tag{8}$$

где c_2 – теплоемкость меди, заданная в таблице 1.

Таблица 1

Теплоемкость меди в зависимости от температуры материала

Температура, °С	0	100	200
Теплоемкость, Дж/(кг·°)	381,29	393,86	408,53

Величину α принимают одинаковой для обоих образцов в одних и тех же интервалах температур.

Порядок выполнения исследования

1. Помещали один из образцов в печь и включали питание печи.
2. Нагревали печь до температуры 100°C , соответствующей определенной точке на градуировочном графике термопары и извлекали образец из печи.
3. С помощью секундомера через каждую минуту производили запись температуры остывающего образца по показаниям милливольтметра и градуировочному графику термопары.
4. Повторяли указанные в пунктах 1–3 измерения с оставшимися двумя образцами. Нагретый образец охлаждали в неподвижном воздухе до температуры ниже 40°C .

Обработка результатов

1. Составляли таблицу значений температуры для каждого из трех образцов.
2. На листе миллиметровой бумаги в координатах $\ln(t(\tau) - t_0)$ и τ строили графики для всех образцов.
3. Разбивали полученные графики вертикалями в окрестности температур, указанных в таблице температурной зависимости теплоемкости меди.
4. Для каждого из таких участков определяли тангенс угла наклона прямой к оси времени.
5. Используя формулу (8), определяли значения теплоемкостей образцов по известной температурной зависимости теплоемкости меди.

В формуле (8) величины теплоемкостей относятся к одной и той же температуре.

Поскольку в твердом пищевом материале теплоемкость обусловлена энергией фононов структурной решетки, следовательно, теплоемкость зависит от структурной решетки данного материала. И, поэтому, если при изменении температуры пищевого материала происходят структурные изменения (в частности испарение), то нарушается монотонный характер температурной зависимости теплоемкости. Различие графической зависимости эффективной и истинной теплоемкости позволяет обнаружить фазовые переходы и определить тепловой эффект, если фазовый переход сопровождается изменением внутренней энергии.

Выводы классической теории теплоемкости, полученные для газов, можно с некоторыми дополнениями применить к жидким и твердым телам. Так, допуская, что для твердого тела выполняется гипотеза о равном распределении внутренней энергии по степеням свободы, получаем, что на каждую степень свободы приходится энергия, равная $\frac{1}{2}kT$, где k – постоянная Больцмана. Из этого предположения следует, что грамм-атомная теплоемкость твердых тел

$$C_{am} = 3R, \quad (9)$$

где R – универсальная газовая постоянная; $R = 8,31$ Дж/(моль К).

Экспериментально эта зависимость была получена в 1819 г. Дюлонгом и Пти (еще до создания классической теории теплоемкости) и носит название закона Дюлонга и Пти.

Строго говоря, закон Дюлонга и Пти выполняется только для химически простых кристаллических тел при $T > \Theta_D$; Θ_D – температура Дебая для данного вещества.

Теплоемкость по классической теории не зависит от температуры, а по квантовой теории Дебая следует, что теплоемкость тел вблизи абсолютного нуля пропорциональна кубу абсолютной температуры (закон кубов Дебая):

$$C = \frac{12\pi^4 R}{5\Theta^3} T^3. \quad (10)$$

Область применения закона кубов Дебая лежит ниже температуры $2 \cdot 10^{-2} \theta_D$.

У большинства жидких пищевых материалов с повышением температуры теплоемкость увеличивается, а у некоторых с повышением температуры теплоемкость уменьшается, например, у воды. Сложный характер изменения теплоемкости является одной из аномалий воды. С повышением температуры воды ее теплоемкость сначала уменьшается и пройдя через минимум — увеличивается.

В работе Ф.М. Камья [14] сделана попытка использовать импульсное уравнение для решения сложных задач теплопроводности при помощи ЭВМ, с целью получения метода, пригодного для решения любой тепловой задачи. В книге Ф.М. Камья изложена импульсная теория теплопроводности и даны преобразования общей вектор-задачи для ввода в ЭВМ, а также показано, что с помощью ЭВМ могут решаться задачи при наличии фазового перехода.

Теплота фазового перехода может быть представлена, по идее Ф.М. Камья, как очень большая дополнительная теплоемкость, существующая в момент перехода одной фазы в другую в исключительно малом, но не нулевом интервале температур.

Представление Ф.М. Камья [14] о теплоте фазового перехода, как о большой дополнительной теплоемкости, является спорным, так как фазовый переход может сопровождаться как поглощением, так и выделением теплоты соответственно эндотермическому или экзотермическому процессам и следовательно, вызовет уменьшение или возрастание теплоемкости.

В большинстве методов, применяемых для экспериментального определения удельной теплоемкости, не разделяется теплота, расходуемая только на нагревание тела и на фазовые переходы, а поэтому часто получаются значительно завышенные значения теплоемкости, т. е. не истинное значение теплоемкости, а эквивалентное.

Из выше сказанного вытекает необходимость экспериментального определения теплоемкости сыпучего арахисового сырья. Также имеется потребность в определении динамики изменения теплоемкости в процессе обработки. Методика проведения исследования приведена в начале данного пункта.

Результаты исследования приведены на рисунке 7.

По результатам проведенного исследования можно сделать определенный вывод: теплоемкость при увеличении температуры и маслячности арахисового сырья в процессе обработки имеет устойчивую тенденцию к увеличению. Это наблюдается при следующем изменении теплоемкости воды (изменение теплоемкости воды показано на рисунке 8).

При этом следует учитывать изменение процентного содержания влаги в продукте в процессе обработки. Характерная зависимость изменения влажности продукта во время конвективно-микроволновой обработки показана на рисунке 9.

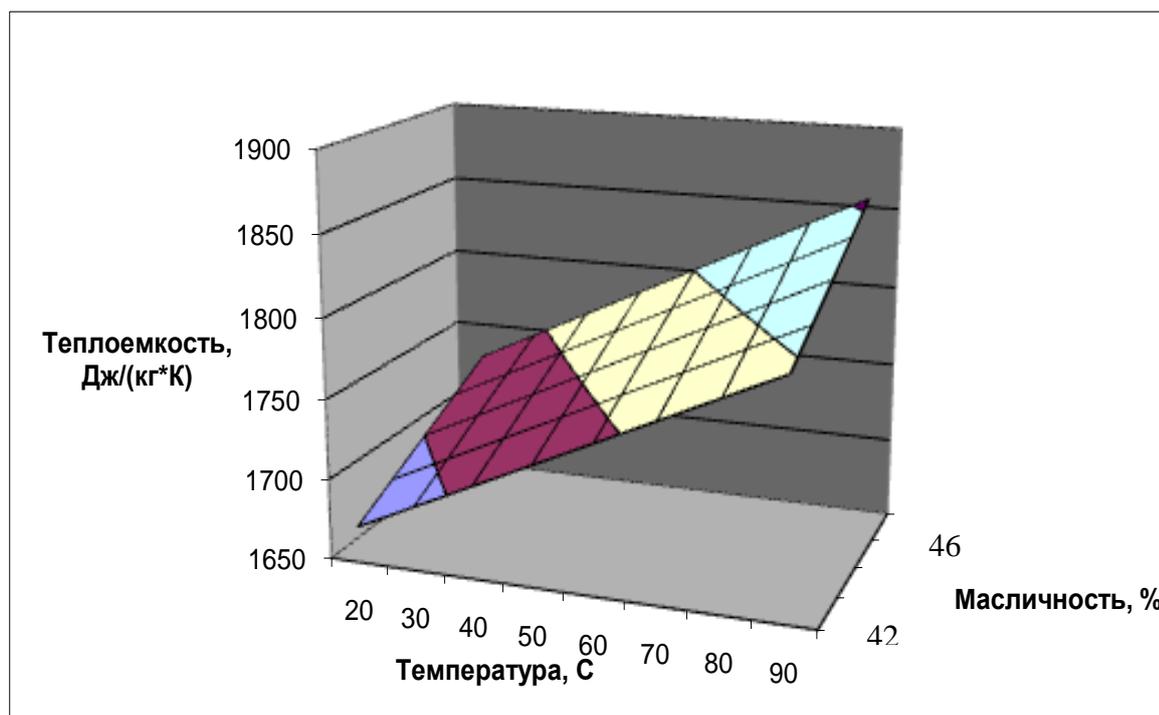


Рис. 7. Изменение теплоемкости орехов арахиса в процессе обработки

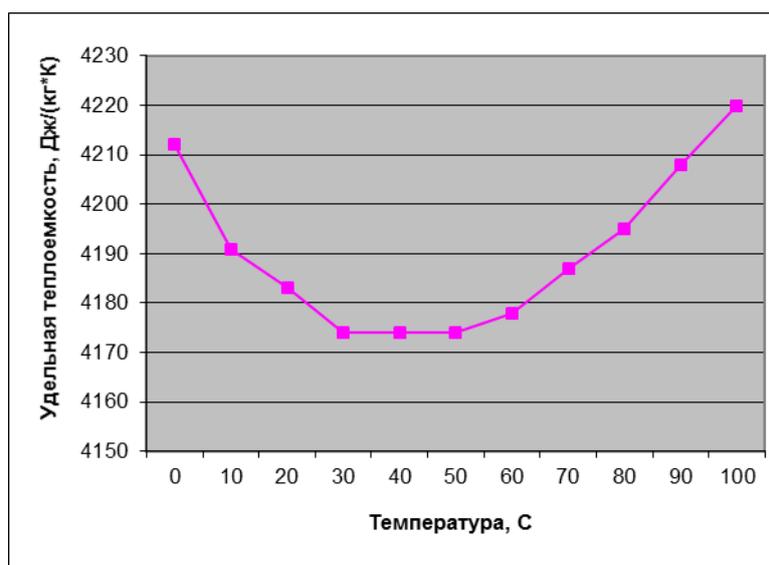


Рис. 8. Изменение удельной теплоемкости воды при изменении температуры

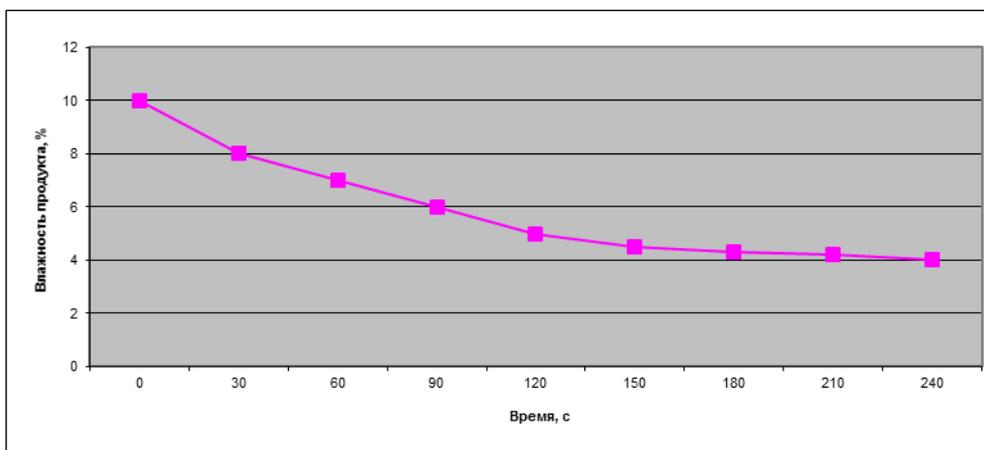


Рис. 9. Кривая сушки продукта в процессе обработки

При совместном рассмотрении рисунков 8 и 9 можно наблюдать картину, когда составляющий компонент продукта (влага), обладающий высокой теплоемкостью, находясь в продукте в связанном состоянии, обеспечивает исходному продукту общую удельную теплоемкость более, чем в 2 раза меньшую теплоемкости воды. Несмотря на высокие значения теплоемкости воды в конечной фазе обработки, роль обусловленная теплоемкостью воды, незначительна. Продукт без влияния теплоемкости воды, обладает теплоемкостью представленной на рисунке 10.

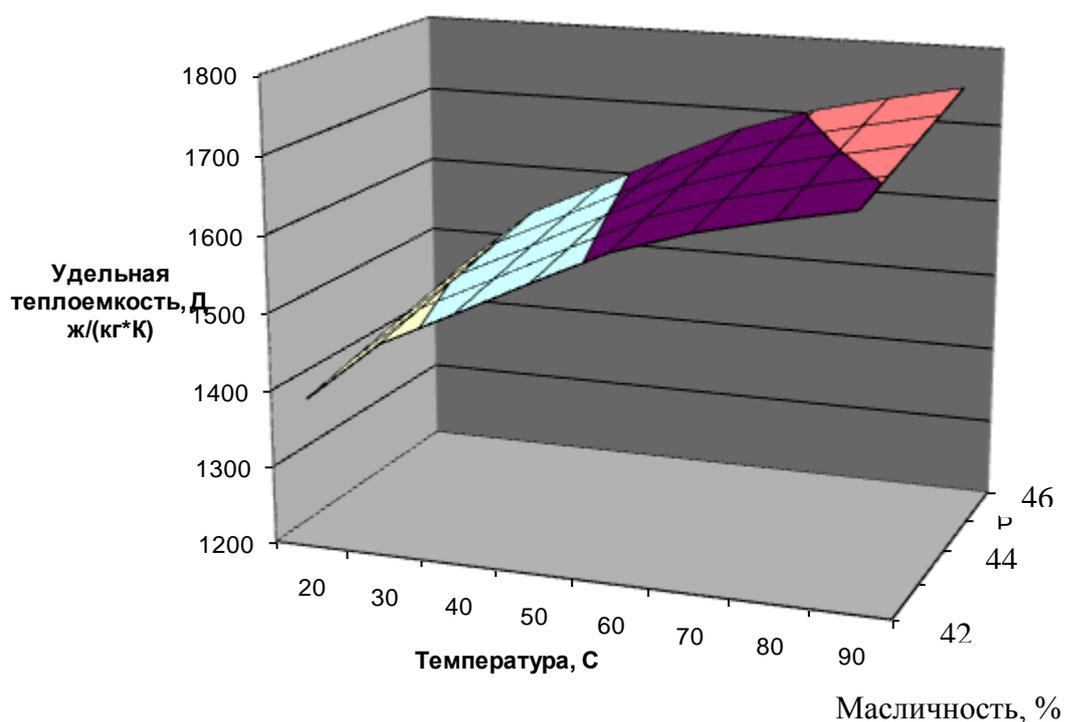


Рис. 10. Изменение удельной теплоемкости орехов арахиса без учета влияния теплоемкости воды

Анализируя рисунок 10, приходим к выводу, что при обработке теплоемкость орехов арахиса увеличивается, что требует дополнительного подвода теплоты. При определении подводимого количества теплоты, необходимо точно соотносить параметры температуры и масличности обрабатываемого продукта.

Выводы

При разработке как оборудования, так и технологии обработки арахисового сырья необходимо обязательно учитывать изменяющиеся теплофизические характеристики продукта, т.к. без их учета и при принятии усреднённых значений для всего процесса обработки резко снижается качество готового продукта.

Литература

1. Драгилев А.И., Маршалкин Г.А. Основы кондитерского производства. М.: Колос, 1999. 448 с.
2. Носиков В.С., Климова З.Г. Термическая обработка какао бобов в электромагнитном поле СВЧ // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1982. №3. С. 37–38.
3. Cosecha de mani. *Manfredi* (Cordoba). 1990. 20 p. (Cuaderno de actualizacion tecn./Estacion experimental agropecuaria Manfredi; 1989/90, N4).
4. Никель С.А., Шишацкий Ю.И., Семенихин О.А. Анализ температурных кривых какао бобов и арахиса, полученных при комбинированном теплоподводе // Материалы XL отчетной научной конференции ВГТА за 2001 г. Часть 2. Воронеж, 2001. С.7–11.
5. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 472 с.
6. Заплетников И.Н., Кудрявцев В.Н. О результатах воздействия электромагнитного поля на процесс сушки орехового сырья // Тезисы докладов международной научно-практической конференции посвященной 65-летию со дня рождения М.И. Беляева. Харьков: Харк. гос. ун-т питания та торговли, 2003. С. 243–245.
7. Зубченко А.В. Технология кондитерского производства. Воронеж: ВГТА, 2001. 430 с.
8. Калашников Г.В., Остриков А.Н. Ресурсосберегающие технологии пищевых концентратов. Воронеж: ВГУ, 2001. 356 с.
9. Кузнецова Л.С., Ковалева Л.С. Применение СВЧ-нагрева для термической обработки какао бобов // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1982. № 5. С. 23–30.
10. Лунин О.Г., Драгилев А.И., Черноиванник А.Я. Технологическое оборудование предприятий кондитерской промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 384 с.
11. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н. и др. Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн / под ред. В.А. Панфилова. М.: Высшая школа, 2001. 2 кн.
12. Остриков А.Н., Шевцов А.А., Кравченко В.М., Зотов А.Н. Обжарка кофе перегретым паром. Воронеж: ВГТА, 2003. 174 с.
13. Остриков А.Н. Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья. Воронеж, 1998. 343 с.
14. Камья Ф.М. Импульсная теория теплопроводности. М.: Энергия, 1972. 271 с.

References

1. Dragilev A.I., Marshalkin G.A. *Osnovy konditerskogo proizvodstva*. Moscow, Kolos Publ., 1999. 448 p.
2. Nosikov V.S., Klimtsova Z.G. Termicheskaya obrabotka kakao bobov v elektromagnitnom pole SVCh. *Khlebopekarnaya i konditerskaya promyshlennost'*. 1982, № 3, pp. 37–38.
3. Cosecha de mani. *Manfredi* (Cordoba). 1990. 20 p. (Cuaderno de actualizacion tecn./Estacion experimental agropecuaria Manfredi; 1989/90, N4).
4. Nikel' S.A., Shishatskii Yu.I., Semenikhin O.A. Analiz temperaturnykh krivykh kakao bobov i arakhisa, poluchennykh pri kombinirovannom teplopodvode. *Materialy XL otchetnoi nauchnoi konferentsii VGTA za 2001 g. Chast' 2*. Voronezh, 2001, pp. 7–11.
5. Lykov A.V. *Teoriya sushki*. Moscow, Energiya Publ., 1968, 472 p.
6. Zapletnikov I.N., Kudryavtsev V.N. O rezul'tatakh vozdeistviya elektromagnitnogo polya na protsess sushki orekhovogo syr'ya. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii posvyashchennoi 65-letiyu Belyaeva M.I.* Khar'kov, Khark. gos. un-t pitaniya ta trgovli, 2003, pp. 243–245.
7. Zubchenko A.V. *Tekhnologiya konditerskogo proizvodstva*. Voronezh, VGTA, 2001. 430 p.
8. Kalashnikov G.V., Ostrikov A.N. *Resursosberegayushchie tekhnologii pi-shchevykh kontsentratov*. Voronezh, VGU, 2001, 356 p.
9. Kuznetsova L.S, Kovaleva L.S. Primenenie SVCh-nagreva dlya termicheskoi obrabotki kakao bobov. *Khlebopekarnaya i konditerskaya promyshlennost'*. 1982, № 5, pp. 23–30.
10. Lunin O.G., Dragilev A.I., Chernovannik A.Ya. *Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatii konditerskoi promyshlennosti*. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost' Publ., 1984, 384 p.

11. Antipov S.T., Kretov I.T., Ostrikov A.N. i dr. *Mashiny i apparaty pishchevykh proizvodstv*. V 2 kn / pod red. V.A. Panfilova. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001, 2 kn.
12. Ostrikov A.N., Shevtsov A.A., Kravchenko V.M., Zotov A.N. *Obzharka kofe peregretym parom*. Voronezh, VGTA, 2003, 174 p.
13. Ostrikov A.N. *Energoberegayushchie tekhnologii i oborudovanie dlya sushki pishchevogo syr'ya*. Voronezh, 1998, 343 p.
14. Kam'ya F.M. *Impul'snaya teoriya teploprovodnosti*. Moscow, Energiya Publ., 1972, 271 p.