

УДК 537.86

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛН НА ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ И ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Юргель Д.С., Ванченко А.Д., студенты

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Бурый А.В. – ассистент

Аннотация. В работе рассматриваются физические основы взаимодействия микроволнового излучения с продуктами питания. Анализируются механизмы дипольного поглощения и ионных потерь, лежащие в основе объемного диэлектрического нагрева. Описывается природа микроволн, принципы их генерации магнетроном и распространения в среде. Особое внимание уделяется физическим изменениям структуры продуктов под воздействием СВЧ-поля: испарению влаги, разрушению клеточных стенок, денатурации белков. Показано, что микроволны являются неионизирующим излучением и не способны изменять химический состав пищи или делать ее радиоактивной. Делается вывод о безопасности использования исправной микроволновой техники.

Ключевые слова. Микроволновое излучение, сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение, электромагнитные волны, магнетрон, диэлектрический нагрев, объемный нагрев, дипольное поглощение, ионные потери, полярные молекулы, молекулы воды, глубина проникновения, стоячая волна, резонатор, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, теплопроводность, парообразование, денатурация белков, структура пищевых продуктов, микроволновая печь, взаимодействие со средой, поглощение энергии, размораживание продуктов, экспериментальные исследования.

Введение. Сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение, или микроволны, прочно вошли в повседневную жизнь человека с середины XX века, прежде всего, в виде бытовых микроволновых печей [1]. Сегодня сложно представить современную кухню без этого прибора, позволяющего разогреть пищу за считанные минуты. Однако, несмотря на широкое распространение и более чем полувековую историю использования, вокруг этого физического явления до сих пор существует множество мифов, домыслов и откровенно антинаучных представлений, касающихся его влияния на пищу и здоровье человека. В обывательской среде можно услышать утверждения о том, что микроволновка "убивает" пищу, делает её "мёртвой", изменяет воду на структурном уровне или даже делает еду канцерогенной [2].

Целью данной работы является рассмотрение физических основ взаимодействия микроволнового излучения с веществом, а также анализ тех изменений, которые оно вызывает в продуктах питания. Основной акцент будет сделан на физике процесса, а не на биологических последствиях. Важно понять, что именно происходит с молекулами воды, белков и жиров, когда они попадают под воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты, и какие из этих изменений являются мифическими, а какие — реально существующими и подтверждёнными научными исследованиями [3].

Основная часть. Микроволновое излучение представляет собой разновидность электромагнитного излучения с диапазоном длин волн от одного метра до одного миллиметра, что соответствует частотам от 300 МГц до 300 ГГц [3]. В спектре электромагнитных волн оно занимает вполне определённое место, располагаясь между радиоволнами и инфракрасным излучением. Это неионизирующее излучение, что является ключевой характеристикой, отличающей его от опасных рентгеновских или гамма-лучей. Энергия кванта микроволнового излучения недостаточна для ионизации атомов или молекул, то есть для выбивания электронов и разрушения химических связей напрямую [1].

Для бытовых и промышленных целей, а также для научных исследований, как указано в обзоре Института пищевых технологов (IFT), официально разрешены две основные частоты: 915 МГц и 2450 МГц [4]. Выбор этих частот не случаен. Он продиктован необходимостью избежать интерференции с частотами работы радиолокационных станций, систем связи и других важных служб. Практически все домашние СВЧ-печи работают на частоте 2,45 ГГц, что соответствует длине волны примерно 12,2 сантиметра. Эта частота является своеобразным компромиссом между глубиной проникновения волны в продукт и эффективностью поглощения её молекулами воды [5].

Источником микроволн в печи является магнетрон — мощная электровакуумная лампа, преобразующая электрическую энергию в сверхвысокочастотное электромагнитное поле [2]. Конструкция магнетрона представляет собой цилиндрический анод с резонаторами и катод в центре. Под воздействием высокого напряжения электроны эмитируются катодом и, взаимодействуя с магнитным и электрическим полями, начинают двигаться по сложным траекториям, возбуждая в резонаторах сверхвысокочастотные колебания. Генерируемые волны по волноводу поступают в рабочую камеру, которая, как отмечается в научной статье Н.В. Федорова, представляет собой резонатор со стоячей волной [2]. Это означает, что внутри камеры электромагнитная энергия распределена неравномерно — существуют области с максимальной напряжённостью поля (пучности) и области с минимальной (узлы). Для выравнивания этого

неравномерного распределения в современных печах используются вращающиеся поддоны или металлические диссекторы (перемешиватели), которые изменяют структуру поля в процессе работы, заставляя продукт перемещаться относительно пучностей и узлов или отражая волны под разными углами [2].

Ключевое отличие микроволнового нагрева от классического (конвекционного или кондукционного) заключается в его объёмном характере. При традиционном нагреве тепловая энергия передаётся от поверхности продукта вглубь за счёт теплопроводности, что требует значительного времени. Например, чтобы прогреть кусок мяса толщиной в несколько сантиметров в духовке, тепло должно пройти через внешние слои, постепенно добираясь до центра. Микроволны же обладают способностью проникать вглубь продукта на определённую глубину (обычно от 1 до 3-5 сантиметров в зависимости от плотности и влажности) и взаимодействуют с веществом практически одновременно во всём этом объёме [5]. Как подчёркивается в работе Шевченко Т.В. и соавторов, основным механизмом такого взаимодействия является дипольное поглощение [1].

Молекулы многих веществ, и в первую очередь воды, являются полярными диполями. Это означает, что из-за асимметричного распределения электронной плотности у них есть частично положительный и частично отрицательный полюса. Молекула воды имеет форму уголка: атом кислорода несёт частичный отрицательный заряд, а два атома водорода — частичный положительный. В отсутствие внешнего электрического поля эти диполи ориентированы хаотически из-за теплового движения. Однако, когда вещество попадает в переменное электрическое поле, ситуация кардинально меняется [3].

Под воздействием переменного электрического поля СВЧ-диапазона с частотой 2,45 ГГц полярные молекулы начинают вынужденно колебаться и переориентироваться, стремясь выстроиться по направлению поля. Поскольку поле меняет своё направление миллиарды раз в секунду (2,5 миллиарда раз в секунду для частоты 2,45 ГГц), молекулы приходят в интенсивное вращательное движение. Они буквально начинают "раскачиваться" из стороны в сторону, пытаясь угнаться за изменениями поля [5]. При этом они неизбежно сталкиваются с соседними молекулами, передавая им часть своей кинетической энергии. Именно эта энергия трения и столкновений на молекулярном уровне воспринимается нами как нагрев. Данное явление подробно описано в материалах Кильского университета, где его образно называют "встряхиванием молекул воды" [5]. Важно понимать, что частота 2,45 ГГц выбрана не случайно — она оптимальна для максимально эффективного возбуждения вращательных уровней молекул воды в жидкой фазе [3].

Другим важным механизмом нагрева являются ионные потери. В любом продукте, особенно в подсолённой пище или бульонах, содержатся ионы растворённых солей — положительные катионы и отрицательные анионы (например, Na^+ и Cl^- из поваренной соли). Эти заряженные частицы значительно легче и подвижнее, чем крупные дипольные молекулы [1]. Под действием электрического поля они приходят в поступательное движение: положительные ионы движутся в сторону отрицательного полюса поля, а отрицательные — в сторону положительного. Когда поле меняет свою полярность, ионы тут же начинают двигаться в обратном направлении. Чем выше концентрация ионов в растворе, тем интенсивнее это движение и, следовательно, тем больше кинетической энергии передаётся окружающей среде. Именно поэтому солёные участки блюда или тонкие края продуктов нагреваются в микроволновке быстрее и сильнее, что подтверждается экспертами Московского физико-технического института [6]. В подливке или супе концентрация ионов выше, чем в куске мяса, поэтому жидкая фаза разогревается быстрее [1].

Интересно и показательно, что не все вещества одинаково взаимодействуют с микроволнами. Так, сухие пористые материалы (например, хлеб или печенье) нагреваются крайне плохо, если в них мало влаги. Ещё более яркий пример — лёд. В кристаллической решётке льда молекулы воды жёстко фиксированы водородными связями и не могут свободно вращаться. Их подвижность резко ограничена, что практически полностью нивелирует эффект дипольных потерь [3]. Именно поэтому, если размораживать продукты в микроволновке без специального режима, края могут начать вариться, в то время как внутри продукта, где ещё сохраняется лёд, температура остаётся низкой. Для размораживания используется либо прерывистый режим работы магнетрона (импульсная подача мощности), чтобы тепло успевало распределяться теплопроводностью, либо более низкие частоты, обеспечивающие большее проникновение [2].

Понимание физики микроволнового нагрева было бы неполным без рассмотрения вопроса о том, как именно волна распространяется и затухает в веществе. Это описывается понятием глубины проникновения. Глубина проникновения — это расстояние от поверхности продукта, на котором интенсивность волны уменьшается в e раз (примерно в 2,7 раза) [3]. За этой границей энергия волны всё ещё есть, но она значительно ослаблена.

Глубина проникновения зависит от двух основных факторов: частоты излучения и диэлектрических свойств самого продукта. Как правило, чем выше частота, тем меньше глубина проникновения. Для частоты 2,45 ГГц в продуктах с высоким содержанием воды (мясо, овощи, рыба) глубина проникновения составляет от 1 до 3 сантиметров [5]. Это означает, что основное тепловыделение происходит именно в этом поверхностном слое. Дальнейшее проникновение тепла вглубь продукта (например, в центр боль-

шого куска мяса) осуществляется уже за счёт обычной теплопроводности, как и при традиционных способах приготовления. Именно поэтому большие куски могут не провариваться внутри, если мощность слишком высока, а время мало — внешний слой перегревается и пересыхает, а тепло просто не успевает дойти до центра [4].

Диэлектрические свойства продукта, а именно его диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь, определяют, насколько эффективно данный материал будет поглощать энергию СВЧ-поля и превращать её в тепло [1]. Высокое содержание воды и солей резко увеличивает эти показатели. Жиры и масла, хотя и содержат неполярные молекулы, также могут нагреваться, но их диэлектрические потери значительно ниже, чем у воды. Однако из-за более низкой теплоёмкости жиры могут нагреваться до очень высоких температур, что иногда приводит к их пригоранию или даже воспламенению в камере печи [6].

Воздействие микроволн приводит к ряду физических изменений в структуре продуктов. Главным и определяющим фактором здесь является нагрев воды, содержащейся в продукте, и её переход в парообразное состояние. Вода, как известно, обладает уникальной теплоёмкостью и скрытой теплотой парообразования. Когда температура воды внутри продукта достигает точки кипения (100°C при нормальном давлении), начинается интенсивное парообразование [3].

Этот процесс может существенно влиять на целостность клеточных стенок продукта. Клетки растений и животных представляют собой микроскопические резервуары, заполненные жидкостью (клеточным соком). Как образно поясняет биохимик Л. Салитринник, клетки продукта можно сравнить с множеством крошечных воздушных шариков, наполненных водой [6]. При интенсивном и быстром парообразовании давление внутри клетки начинает стремительно расти. Если стенки клетки не успевают адаптироваться или выпустить пар, они лопаются под действием избыточного давления. Именно это и происходит с овощами и фруктами при неправильной обработке в микроволновке — они становятся дряблыми, теряют тургор и форму. С другой стороны, в некоторых случаях этот эффект используется намеренно, например, для быстрого высушивания зелени или размягчения продуктов перед дальнейшей кулинарной обработкой [6].

Испарение влаги приводит также к изменению текстуры продукта в целом. Если продукт готовится слишком долго без добавления воды, он может стать сухим и жёстким из-за потери значительной части влаги. Этот процесс принципиально не отличается от того, что происходит при жарке или варке, но протекает гораздо быстрее из-за объёмного характера нагрева [4].

Более того, экспериментальные исследования, проведённые учёными Кемеровского государственного университета и опубликованные в рецензируемых изданиях, демонстрируют и более тонкие эффекты воздействия на структурном уровне. В своей работе они показали, что кратковременное воздействие микроволн мощностью 700 Вт на пшеничную муку способно изменить физические свойства содержащейся в ней клейковины [7]. Клейковина — это сложный белково-углеводный комплекс, отвечающий за эластичность теста. Исследователи зафиксировали изменения её массы, гидратации (способности удерживать воду) и растяжимости после обработки в СВЧ-поле. Более того, было обнаружено крайне интересное явление: обработанная мука проявляла способность накапливать и затем постепенно рассеивать поглощённую энергию микроволн, оказывая влияние на биологические объекты (дрожжи), помещённые в её среду [7]. Это говорит о том, что воздействие СВЧ-поля может вызывать конформационные изменения в структуре сложных биополимеров — белков и полисахаридов. Молекулы могут менять свою пространственную конфигурацию под воздействием интенсивного вращательного движения, что, в свою очередь, влияет на их функциональные свойства. Это область, требующая дальнейших глубоких исследований [1].

Вопрос о влиянии микроволн непосредственно на организм человека при использовании исправной бытовой техники является, по сути, вопросом физики экранирования. Конструкция любой сертифицированной микроволновой печи включает в себя металлический корпус и специальное экранирование дверцы. Металлическая камера работает как клетка Фарадея — она отражает электромагнитные волны внутрь и не выпускает их наружу [3]. Дверца оснащена частой металлической сеткой или перфорированным листом с отверстиями, диаметр которых намного меньше длины волны (12,2 см). Такая сетка не прозрачна для микроволн, но позволяет визуально наблюдать за процессом приготовления [2].

Утечка излучения через зазоры вокруг дверцы, если печь исправна и не имеет механических повреждений, ничтожно мала и строго регламентируется санитарными нормами (допустимый уровень утечки на расстоянии 5 см от корпуса обычно не превышает 5 мВт/см², что намного ниже уровней, способных вызвать даже незначительный нагрев тканей) [3]. Таким образом, для здорового человека, не имеющего имплантированных электронных устройств (кардиостимуляторов старого типа), использование исправной микроволновой печи безопасно.

Что касается самой пищи, то с точки зрения физики, микроволновое излучение, как уже неоднократно подчёркивалось, является неионизирующим. В отличие от рентгеновского или гамма-излучения, его энергия недостаточно велика, чтобы выбить электрон из атома и создать ионы или, тем более, вызвать изменения в атомном ядре [1]. Следовательно, микроволны не могут сделать пищу радиоактивной.

Энергии кванта микроволнового излучения хватает только на возбуждение вращательных и отчасти колебательных уровней молекул, что и приводит к нагреву, но не к разрыву ковалентных химических связей напрямую. То есть молекулы не распадаются на составляющие под действием самих волн. Любые изменения химического состава пищи (например, денатурация белков или карамелизация сахаров) происходят исключительно из-за нагрева, вызванного волнами, и идентичны изменениям, происходящим при любом другом способе термической обработки [4]. Никаких уникальных, "микроволновых" химических соединений или канцерогенов в пище не образуется, если не превышены обычные температурные режимы приготовления, при которых они могут образовываться и на сковороде [6].

Закключение. Подводя итог всему вышесказанному, можно с уверенностью утверждать, что влияние микроволн на продукты питания имеет строгую физическую природу, основанную на фундаментальных законах взаимодействия электромагнитного поля с веществом [3]. Основной и практически единственной причиной всех наблюдаемых изменений в пище является объёмный диэлектрический нагрев. Он возникает благодаря двум основным механизмам — дипольным потерям (вращение полярных молекул, преимущественно воды) и ионным потерям (направленное движение заряженных частиц) [1].

Этот нагрев, в свою очередь, инициирует ряд физических процессов: интенсивное испарение влаги, приводящее к росту давления внутри клеток и их разрыву, денатурацию (свёртывание) белков, плавление жиров и другие термические изменения. Эти процессы в целом сходны с теми, что происходят при традиционной варке, жарке или запекании, однако отличаются гораздо большей скоростью и объёмным характером воздействия, что иногда может сказываться на текстуре и сочности готового блюда [6]. Физические свойства продукта — его влажность, упругость, консистенция — могут меняться более заметно при нарушении оптимальных режимов приготовления. Однако его принципиальный химический состав не претерпевает изменений, связанных с ионизацией или появлением новых, нехарактерных для обычной термической обработки веществ. Пища, приготовленная в микроволновой печи, с физико-химической точки зрения абсолютно безопасна для употребления, а ключевую роль для её усвоения организмом играет лишь общая температура и равномерность нагрева, как и в случае с любой другой приготовленной едой [4].

Список использованных источников:

1. Взаимодействие микроволн с пищевыми объектами различной химической и физической природы / Т.В. Шевченко, В.С. Лобанова, Ю.В. Устинова [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2020. – № 3. – С. 54-57.
2. Федоров Н.В. Установка сверхвысокочастотного диэлектрического нагрева с перестраиваемой частотой / Н.В. Федоров // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. – 2017. – Т. 25, № 4. – С. 106-113.
3. Радиационная биофизика: радиочастотные и микроволновые электромагнитные излучения / Ю.Б. Кудряшов, Ю.Ф. Перов, А.Б. Рубин // М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2008. – 184 с.
4. Electromagnetic Energy in Food Processing [Электронный ресурс] / J.P. Clark // *Food Technology*. – 2013. – Vol. 67, No. 4. – Режим доступа: <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2013/april/columns/processing> – Дата доступа: 15.03.2026.
5. Föll H. Cooking with Microwaves [Электронный ресурс] / H. Föll // *Advanced Materials B, part 1. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*. – Режим доступа: http://web.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/admat_en/kap_3/advanced/t3_4_1.html. – Дата доступа: 15.03.2026.
6. Как микроволновка меняет структуру еды? [Электронный ресурс] // *Роскачество*. – 2021. – Режим доступа: <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/kak-mikrovolnovka-vliyaet-na-vkus-i-strukturu-edy/> – Дата доступа: 15.03.2026.
7. Влияние сверхвысокочастотного поля на физико-химические показатели клейковины пшеничной муки / Д.Г. Дятлов, Т.В. Шевченко // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2018. – № 5. – С. 32–35.

UDC 537.86

THE EFFECT OF MICROWAVES ON FOOD AND THE HUMAN BODY

Yurgel D.S., Vanchenko A.D., students

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Bury A.V. – Assistant

Annotation. This paper examines the physical principles of microwave interactions with food products. The mechanisms of dipole absorption and ion loss underlying volumetric dielectric heating are analyzed. The nature of microwaves, the principles of their generation by a magnetron, and their propagation in a medium are described. Particular attention is paid to the physical changes in food structure under the influence of a microwave field: moisture evaporation, cell wall destruction, and protein denaturation. It is shown that microwaves are non-ionizing radiation and are not capable of altering the chemical composition of food or making it radioactive. A conclusion is drawn regarding the safety of using properly functioning microwave equipment.

Keywords. Microwave radiation, ultra-high-frequency (UHF) radiation, electromagnetic waves, magnetron, dielectric heating, volume heating, dipole absorption, ionic losses, polar molecules, water molecules, penetration depth, standing wave, resonator, permittivity, dielectric loss tangent, thermal conductivity, vaporization, protein denaturation, food structure, microwave oven, interaction with the environment, energy absorption, food defrosting, experimental studies.