

Камчатский государственный технический университет

Факультет повышения квалификации

Г.П. Исаев

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ

*Методическое пособие для слушателей
факультета повышения квалификации*

Петропавловск-Камчатский
2005

УДК 664.951.039
ББК 36
И85

Рецензент

М.В. Ефимова,
заведующая кафедрой
технологии рыбных продуктов КамчатГТУ

Исаев Г.П.

И85 Физические методы обработки гидробионтов. Методическое пособие для слушателей факультета повышения квалификации. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. – 47 с.

Пособие содержит описание современных методов обработки гидробионтов и предназначено для слушателей факультета повышения квалификации, обучающихся по специальности 271000 «Технология рыбных продуктов».

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом КамчатГТУ (протокол № 1 от 23 сентября 2005 г.).

УДК 664.951.039
ББК 36

© КамчатГТУ, 2005
© Исаев Г.П., 2005

Введение

Начало двадцатого века ознаменовалось резким прорывом в физике, а именно, возникли квантовая физика, а затем родилась и ядерная физика. Многие открытые физические явления в этих науках были в последствии использованы в различных отраслях науки, техники и технологии.

Например, с точки зрения квантовой физики после уяснения природы теплового излучения, как электромагнитного излучения и данных исследований по строению вещества появилась возможность осмысленного применения электромагнитного излучения различного диапазона (тепловое излучение, микроволновое излучение, ультрафиолетовое излучение и др.) по нагреву рыбы и рыбопродуктов. Дело в том, что на 70-90% рыба и рыбопродукты состоят из воды, которая является диэлектриком, а характеристики тканей рыбы по своим характеристикам близки к диэлектрикам. Поэтому обрабатываемая рыба не может быть нагрета путем простого процесса пропускания через нее электрического тока. Из курса физики нам известно о существовании явления поляризации диэлектриков в электрическом поле. Оказывается это явление и лежит в основе нагрева диэлектрических материалов, в том числе и рыбы.

Что касается ядерной физики, то во второй половине двадцатого века для целей стерилизации рыбы и рассола тузлука стали использовать радиоактивное излучение.

Для того чтобы специалисты по технологии рыбы и рыбопродуктов осознанно применяли существующие физические методы обработки рыбы и рыбопродуктов и смогли разрабатывать новые методы, и посвящено данное методическое пособие "Физические методы обработки гидробионтов".

Целью данного методического пособия является проблема введения моста между курсом общей физики и предметами, связанными с конкретными вопросами рыбообработки.

Тема №1. Электрические характеристики рыбы и рыбопродуктов

1. Строение рыбы и рыбопродуктов.

Для того чтобы изучать физические процессы, происходящие в тканях рыбы и рыбопродуктов при различных видах рыбообработки, необходимо рассмотреть строение рыбы с точки зрения физического материального тела.

Каждое материальное тело состоит из молекул. Молекулой называется наименьшая частица вещества, характеризующая химические свойства вещества. Каждая молекула состоит из атомов. Атомом называется мельчайшая частица вещества, характеризующая физические свойства вещества.

Размеры молекул зависят от количества атомов, входящих в состав молекулы. Размеры атома составляют $\sim 10^{-10}$ м. В атомной физике для того, чтобы не, писать, постоянно, степень числа 10 вводится в рассмотрение величина, называемая ангстремом ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ м). Размеры различных атомов колеблются около значения

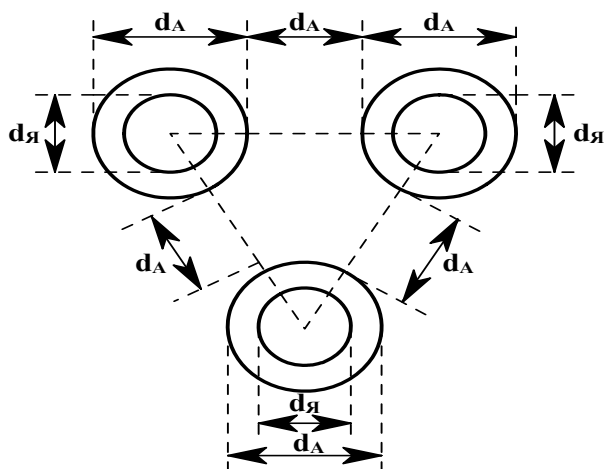


Рис.1.1

1 \AA . Более того межатомные расстояния составляют также порядка размеров атома.

В состав атома входит ядро, состоящее из положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов с примерно одинаковыми массами.

Размеры ядра составляют порядка 10^{-15} м. Вокруг ядра движутся электроны, масса которых в 1840 раз меньше чем масса протона или нейтрона.

На основании выше сказанного и согласно рис.1.1 можно заключить, что основная масса атома содержится в ядре с линейными размерами $\sim 10^{-5} \text{ \AA}$. Ядра находятся друг от друга на расстоянии $\sim 2 \text{ \AA}$. Это означает, что расстояние между ядрами в 200000 раз больше размеров ядра. Из сказанного заключаем, что любое вещество с физической точки зрения можно рассматривать в виде пустоты, т.е. физического вакуума, в котором на больших расстояниях находятся материальные образования с очень высокой плотностью вещества, которая составляет $\sim 10^{20} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

2. Дипольный электрический момент.

Выше было отмечено, что ткани рыбы и рыбных продуктов являются диэлектриками. Диэлектриком называется вещество, у которого практически отсутствуют свободные электроны. Это означает, что заряды в молекуле рыбы являются связанными.

Рассмотрим совокупность двух разноименных по знаку и одинаковых по величине электрических зарядов. Такая совокупность зарядов называется **электрическим диполем**.

Рассчитаем результирующее электрическое поле в некоторой точке наблюдения пространства А, находящейся на оси диполя справа от отрицательного заряда согласно приведенного рисунка 1.2.

На рисунке 1.2 величина L, равная расстоянию между зарядами, называется плечом электрического диполя.

Согласно принципа суперпозиции электрических полей результирующее электрическое поле в точке наблюдения А будет равно

$$\vec{E}_A = \vec{E}_+ + \vec{E}_- . \quad (2.1)$$

Спроектируем векторное уравнение (2.1) на направление оси OX прямоугольной системы координат XOY, ось OX которой направлена по оси диполя в сторону от положительного заряда к отрицательному

$$E_A = E_+ - E_- , \quad (2.2)$$

в выражении (2.2) величины E_+ и E_- представляют из себя модули напряженностей электрических полей, создаваемых положительным и отрицательным зарядами диполя соответственно.

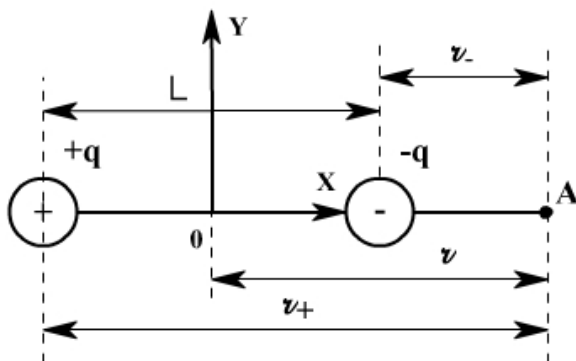


Рис.1.2.

Далее учитывая выражение для поля точечного заряда, получаем:

$$E_A = E_+ - E_- = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_+^2} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_-^2} = -\frac{qL}{2\pi\epsilon_0 r^3} = -\frac{p}{2\pi\epsilon_0 r^3} , \quad (2.3)$$

в выражении величина $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$ называется электрической постоянной, она физического смысла не имеет, а является ко-

эффицентом перевода электрических величин из одной системы единиц измерения в другую.

Таким образом, результирующее поле в точке наблюдения А определяется выражением (2.3), знак минус означает, что вектор результирующего электрического поля, создаваемого диполем направлен в отрицательном направлении оси ОХ. В данном выражении введена в рассмотрение величина

$$p = q \cdot L, \quad (2.4)$$

называемая дипольным электрическим моментом.

Запишем выражение (2.3) с учетом (2.4) в векторной форме

$$\vec{E}_A = \frac{\vec{p}}{2 \pi \epsilon_0 r^3}. \quad (2.5)$$

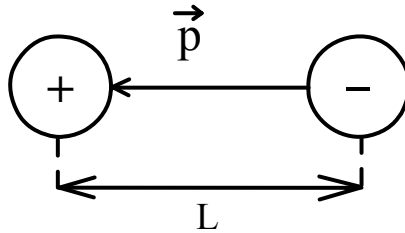


Рис.1.3

Вектор \vec{p} в выражении (2.5) называется вектором дипольного электрического момента, который характеризует электрические свойства диполя и который направлен вдоль оси диполя по направлению от отрицательного заряда к положительному заряду диполя (рис.1.3).

3. Полярные и неполярные молекулы.

Как было отмечено выше ткани рыбы и рыбных продуктов, как и вода, входящая в их состав, являются диэлектриками. Диэлектриками, являются вещества, у которых практически отсутствуют свободные электроны. Из сказанного следует, что нагреть рыбу и рыбные продукты путем простого пропускания через нее электрического тока не представляется возможным. Возникает вопрос относи-

тельно того, каким же должен быть механизм нагрева рыбы, например, в обычной духовке или в микроволновой печи.

Оказывается, что механизм нагрева связан с понятием поляризации молекул диэлектрика в электромагнитном поле излучения.

Для того чтобы уяснить механизм поляризации диэлектрика рассмотрим процесс создания электрического поля в точке наблюдения отрицательно заряженными электронами и положительно заряженными протонами, входящими в состав молекулы.

1). Электроны.

Каждый из электронов молекулы создает в определенной точке пространства электрическое поле. Суммируя векторно эти поля можно получить результирующее электрическое поле в точке наблюдения от всех электронов молекулы. Выберем в пределах молекулы некоторую точку и поместим в эту точку отрицательный электрический заряд величиной, равной суммарному заряду всех электронов молекулы. Если данный "эффективный" отрицательный электрический заряд будет создавать в точке наблюдения электрическое поле, равное электрическому полю от всех электронов молекулы, то данную точку в молекуле называют **центром тяжести отрицательного заряда**.

2). Протоны.

Каждый из протонов создает в определенной точке пространства электрическое поле. Суммируя векторно все эти поля, можно получить результирующее электрическое поле в точке наблюдения от всех протонов молекулы. Выберем в пределах молекулы некоторую точку и поместим в эту точку положительный заряд величиной, равной суммарному заряду всех протонов молекулы. Если данный "эффективный" положительный электрический заряд будет создавать в точке наблюдения электрическое поле, равное электрическому полю от всех протонов молекулы, то данную точку в молекуле называется **центром тяжести положительного заряда**.

В зависимости от взаимного расположения центров тяжести положительного и отрицательного зарядов молекулы все молекулы можно разделить на три типа.

1). неполярные молекулы.

В данном случае электронная пара двух атомов молекулы А и В одинаковой степени принадлежит обоим атомам. Это означает, что центры тяжести положительных зарядов C_1 отрицательных заря-

дов C_2 и молекулы совпадают и молекула называется неполярной. Схематически понятие неполярной молекулы можно изобразить с помощью рис.1.4. Каждая неполярная молекула не создает в окружающем пространстве электрического поля вследствие совпадения центров тяжести положительного и отрицатель-

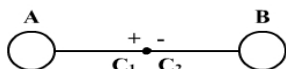


Рис. 1.4

льного электрических зарядов. Следовательно, и весь объем диэлектрика, состоящего из неполярных молекул не создает в окружающем пространстве электрического поля.

Неполярными молекулами являются двухатомные молекулы, состоящие из одинаковых атомов N_2 , H_2 , O_2 , т.е. входящих в состав воздуха, а также углеводороды, парафин и другие.

2). Полярные молекулы.

Рассмотрим данный вид молекул на примере молекулы, состоящей из разных атомов, например, молекулу HCl .

Электронная пара в такой молекуле в большей степени смещена к одному из атомов. Поэтому центры тяжести положительных и отрицательных зарядов C_1 и C_2 не совпадают. Это означает, что данный тип молекул является электрическим диполем, т.е. полярная молекула в точке наблюдения окружающего пространства создает электрическое поле.

Однако, диэлектрик из полярных молекул в целом в окружающем пространстве электрического поля не создает в силу того, что векторы напряженности электрического поля громадного числа молекул хаотически ориентированы в пространстве и в сумме дают нулевой вектор.

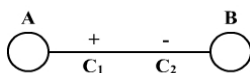


Рис.1.5.

Изобразим схематически такую молекулу в виде электрического диполя на рис.1.5.

Типичным представителем полярных молекул является молекула воды (H_2O), состоящую из трех атомов, из которой на 70-90% состоит рыба и рыбопродукты. Ориентация атомов в молекуле воды представлена на рис.1.6.

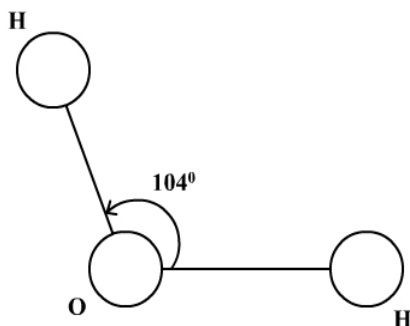


Рис.1.6.

3). Ионные молекулы.

Данный вид молекул является предельным случаем полярности молекулы, когда центры тяжести положительного и отрицательного зарядов C_1 и C_2 находятся в самих атомах А и В, которые представляют из себя разноименно заряженные ионы.

4. Шкала электромагнитных волн.

Выше было отмечено, что нагрев рыбы и рыбопродуктов может осуществляться не только за счет теплового излучения, а также за счет микроволнового излучения. Данные типы излучений необходимо рассматривать как электромагнитное излучение определенного частотного диапазона. Электромагнитное излучение необходимо рассматривать в качестве электромагнитной волны. Для того чтобы лучше понимать механизм нагрева рыбы необходимо рассматривать весь спектр частот электромагнитных волн, начиная с промышленной частоты в 50 Гц. Проведем анализ частотного диапазона. Электромагнитное излучение необходимо рассматривать в качестве электромагнитной волны. Разделим анализ частотного диапазона по наименованиям их применения в различных областях науки и техники.

1). Электротехника.

Рассмотрим в данном случае величину длину волны для промышленной частоты в 50 Гц. В дальнейшем при расчетах будем считать, что скорость электромагнитной волны равна скорости света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, тогда частота волны будет равна

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6 \cdot 10^6 \text{ м} = 6000 \text{ км}.$$

2). Радиотехника.

В данном случае электромагнитные волны называются радиоволнами. Их длина составляет по величине от десятков километров до единиц метра. Относительно величины частоты этот диапазон составляет область частот от 1 КГц до 300 МГц.

3). СВЧ диапазон.

В данном диапазоне частот электромагнитные волны называются микроволновыми. Данный диапазон волн составляет по частоте область от 300 мегагерц (МГц) до сотен гигагерц (ГГц). Длина электромагнитной волны в данном случае составляет порядка единиц дециметров, сантиметров и миллиметров.

4). Тепловое излучение.

Этот вид излучения представляет собой электромагнитные волны инфракрасного диапазона с длиной волны в диапазоне от 10^{-4} м до 10^{-6} м и для частот от 10^{12} Гц до 10^{14} Гц.

5). Оптический диапазон.

Данный диапазон включает в себя интервал длин волн от красного света (560 нм) до фиолетового (380 нм).

6). Рентгеновский диапазон.

Данный диапазон электромагнитных волн заключен в области длин волн от 10^{-8} м до 10^{-11} м и для частот от 10^{16} Гц до 10^{20} Гц.

7). Гамма лучи.

Данный диапазон электромагнитной волны заключен в области длин волн меньше 10^{-11} м и для частот выше 10^{20} Гц.

5. Электронная поляризация диэлектрических материалов.

Выше было отмечено, что тепловое и микроволновое излучения, с помощью которых можно нагревать рыбу представляют из себя электромагнитное излучение, т.е. электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве, где происходит нагрев рыбы.

Электромагнитное поле представляет из себя совокупность взаимосвязанных электрического и магнитного полей. Так как магнитное поле действует только на движущиеся заряды, то, следовательно, на заряды в молекулах воды или тканях рыбы, находящихся в неподвижной рабочей камере действует только электрическое поле электромагнитного излучения.

Рассмотрим поведение неполярной молекулы в электрическом поле. Когда электрическое поле отсутствует, то в неполярной молекуле центры тяжести положительных и отрицательных зарядов совпадают, и молекула не является электрическим диполем. Данный факт изображен на рис. 1.8а:

Теперь включим внешнее электрическое поле (рис. 1.8 б). В данном случае на положительные и отрицательные заряды в молекуле будет действовать сила:

$$\vec{F} = q \vec{E}. \quad (5.1)$$

Из выражения (5.1) следует, что положительные заряды будут двигаться по полю, а отрицательные заряды будут двигаться против направления поля. На основании сказанного заключаем, что произойдет разделение зарядов и неполярная молекула станет электрическим диполем.

Следует отметить, что, во-первых, тепловое движение молекул не оказывает влияния на строгую ориентацию вектора дипольного

электрического момента вдоль вектора электрического поля, даже в процессе нагрева обратываемого продукта, что естественно будет приводить к усилению теплового движения. Во-вторых, поляризация неполярной молекулы происходит мгновенно

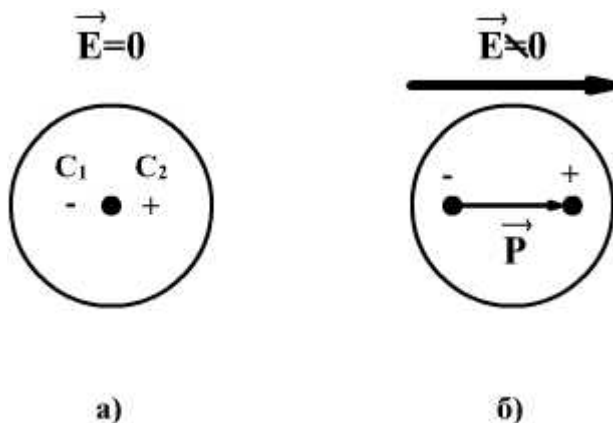


Рис.1.8

вслед за изменением электрического поля, т.е. время ее установления соизмеримо с периодом колебаний электромагнитной волны в видимой части спектра, поэтому электронную поляризацию также называют оптической.

6. Ориентационная поляризация диэлектрических материалов.

Данный вид поляризации свойственен диэлектрическим материалам, состоящим из полярных молекул, например, для молекул воды, из которых в основном состоят гидробийонты.

В отсутствии внешнего электрического поля полярная молекула представляет из себя электрический диполь. Данный электрический диполь характеризуется понятием вектора дипольного электрического момента \vec{p} . Данный факт изображен на рис. 1.9 а.

При включении внешнего электрического поля (рис.1.9. б) на положительные электрические заряды действует сила, направленная по вектору напряженности внешнего электрического поля \vec{E} , а

на отрицательные заряды соответственно будет действовать сила, направленная против направления вектора напряженности внешнего электрического поля \vec{E} . Данная пара сил будет создавать вращательный момент, приводящий к повороту вектора дипольного электрического момента относительно направления внешнего электрического поля.

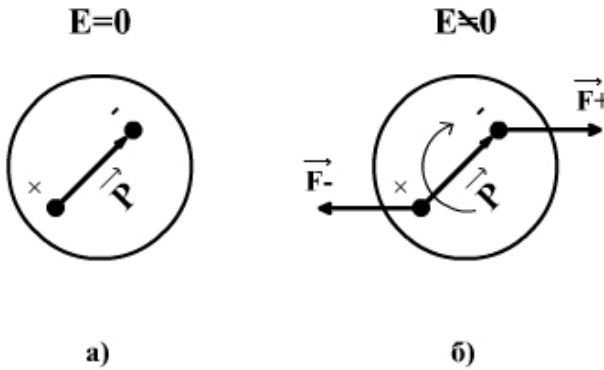


Рис. 1.9

Для данного вида поляризации можно отметить следующие две особенности:

1). В силу инертности вращательного движения вектор дипольного электрического момента \vec{p} проскакивает положение направления вектора напряженности внешнего электрического поля \vec{E} и начинает поворачиваться в противоположном направлении. Этот процесс происходит много раз до состояния полного совпадения векторов электрического момента \vec{p} и электрического поля \vec{E} . Очевидно, что для установления состояния равновесия нужен определенный промежуток времени, гораздо больший, чем для случая электронной поляризации. Причем, этот промежуток времени соизмерим с

периодом микроволнового излучения. Сказанное означает, что этот вид поляризации и ответственен за нагрев рыбы микроволновым излучением, причем поглощение энергии рыбой осуществляется в основном за счет молекул воды.

2). Тепловое движение молекул приводит к разориентации процесса поляризации, т.е. в процессе нагрева рыбы из-за усиления теплового движения молекул необходимо учитывать коррективы в процессе поляризации, что говорит о сложности процесса нагрева с одной стороны и необходимости контроля за процессом нагрева с другой.

В заключении, отметим, что для случая ионных молекул свойственно понятие ионной поляризации, которая представляет из себя предельный случай ориентационной поляризации и носит название атомной поляризации.

7. Измерение электрических характеристик рыбы и рыбных продуктов.

Из курса общей физики известно, что основной силовой характеристикой электрического поля в вакууме является вектор напряженности электрического поля \vec{E} . Для диэлектрической среды основной силовой характеристикой среды является вектор электрического смещения \vec{D} . В случае простейшего случая однородного и изотропного диэлектрика связь между векторами электрического смещения и напряженности электрического поля имеет вид

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}. \quad (7.1)$$

В выражении (7.1) величина ϵ называется диэлектрической проницаемостью среды и которая характеризует диэлектрические свойства среды, являясь некоторым числом. Например, величина диэлектрической проницаемости может принимать следующие значения:

$$\epsilon_{\text{вак}} = 1 \quad \epsilon_{\text{возд}} = 1,006; \quad \epsilon_{\text{бум}} = 39; \quad \epsilon_{\text{воды}} = 81, \text{ и т.д.}$$

Из выражения (7.1) видно, что диэлектрическая среда ослабляет внешнее электрическое поле. Рассмотрим объяснение этого факта на примере более простейшего случая электронной поля-



Рис.1.10

ризации. На рисунке 1.10 приведен факт того, что разделение зарядов в молекуле диэлектрика приводит к появлению в объеме диэлектрика дополнительного электрического поля, характеризуемого вектором напряженности \vec{E} . Это происходит из-за того, что вектор напряженности электрического поля, связанного с разделившимися зарядами направлен от положительного заряда к отрицательному, т.е. в противоположном направлении относительно направления вектора напряженности внешнего электрического поля.

Согласно принципа суперпозиции электрических полей результирующее электрическое поле в диэлектрике можно записать в виде следующего векторного уравнения:

$$\vec{E}_{\text{диэл}} = \vec{E}_{\text{вн}} + \vec{E}_{\text{пол}} . \quad (7.2)$$

Исходя из выражения (7.2) заключаем, что электрическое поле в диэлектрической среде ослабляется за счет физического явления поляризации.

Так как механизм нагрева рыбных продуктов определяется диэлектрическими характеристиками, то в процессе обработки рыбы с одной стороны необходимо знать электрические свойства продукта, чтобы правильно задавать исходные параметры процесса обработки, а с другой стороны эти параметры необходимо контролировать в процессе рыбообработки, чтобы изменять характеристики электромагнитного поля.

На практике измеряют не величину диэлектрической проницаемости ϵ рыбных продуктов, а так называемую величину тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$. Дело в том, что с одной стороны при нахождении диэлектрического вещества в переменном элек-

трическом поле, да еще и высокой частоты, величина диэлектрической проницаемости становится комплексной величиной:

$$\epsilon_a = a + i b, \quad (7.3)$$

где величины a и b являются некоторыми числами, а величина тангенса угла диэлектрических потерь посредством этих величин определяется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{b}{a}.$$

Следует иметь в виду, то величина тангенса угла диэлектрических потерь для случая обработки рыбы и рыбопродуктов находится в следующих пределах значений:

$$\operatorname{tg} \delta = 0,5 \div 2.$$

Тема №2. Микроволновая обработка рыбы и рыбопродуктов

1. Физические основы микроволновой обработки рыбы и рыбопродуктов.

Прежде чем переходить к рассмотрению детальных вопросов микроволнового нагрева отметим, что в России данный вид обработки морепродуктов чаще называется или СВЧ нагревом по наименованию СВЧ диапазона электромагнитных волн, которыми и проводится обработка или диэлектрическим нагревом по наименованию механизма явления поляризации диэлектриков. За рубежом данный вид обработки называется микроволновым нагревом по названию микроволнового диапазона СВЧ волн (длина электромагнитной волны составляет миллиметры или даже микроны).

Следует также отметить, что данный вид рыбопродукты стал применяться только в последние несколько десятков лет. Это объясняется большими трудностями, возникающими при его реализации. Среди этих трудностей можно отметить следующие.

1). В виду сложности строения морепродуктов различные компоненты рыбы по разному реагируют на воздействие СВЧ излучения, что приводит к трудности контроля обрабатываемого объекта с целью доведения его до кулинарной готовности;

2). В виду сложности строения морепродуктов оказывается сложным и механизм количественного расчета технологии обработ-

ки морепродуктов. Данный расчет можно проводить только для простейшего одномерного случая;

3). Трудным оказывается и сам технологический процесс, что требует наличия специально подготовленного обслуживающего персонала.

Несмотря на отмеченные трудности, микроволновый процесс нагрева в настоящее время широко применяется как в промышленной обработке морепродуктов, так и в бытовых целях из-за следующих преимуществ.

1). При микроволновом методе обработки становится возможным процесс равномерного нагрева обрабатываемого объекта независимо от теплопроводности различных компонентов морепродуктов. Это становится возможным из-за того, что нагрев происходит за счет механизма ориентационной поляризации молекул воды, которые с одной стороны распределены по всему объему рыбы, а с другой стороны вода составляет $\sim 70\div 90$ % массы морепродуктов.

2). Поглощение энергии СВЧ излучения происходит за время полупериода СВЧ волны, т.е. за время $\sim 10^{-10}$ с, что приводит к довольно быстрому процессу обработки.

3). Возникающие внутренние источники тепла за счет явления поляризации молекул воды приводят к движению молекул воды к поверхности обрабатываемого объекта, что может быть использовано для целей сушки обрабатываемых морепродуктов.

Физика процесса нагрева рыбы микроволновым излучением сводится к поглощению энергии СВЧ волны веществом рыбы за счет возникающих сил трения между молекулами воды при их поляризации в электромагнитном поле.

Из курса физики известно, что при небольших скоростях движения материальных тел сила трения пропорциональна первой степени скорости. Это означает, что для случая одномерного движения можно записать

$$F_{\text{тр}} \sim v = v_x = \frac{dx}{dt}, \quad (1.1)$$

где величина x означает пройденный телом путь.

Вводя в рассмотрение понятие коэффициента трения γ , запишем выражение (1.1) в следующем виде

$$F_{\text{тр}} = r \cdot \frac{dx}{dt}. \quad (1.2)$$

Следует иметь в виду, что выражение (1.2) записано нами для случая одномерного движения молекулы по оси ОХ.

2. Моделирование одномерного процесса поглощения энергии рыбопродуктами.

В предыдущем параграфе было отмечено, что процесс поглощения энергии обрабатываемым рыбопродуктом обусловлен силами трения между молекулами вещества рыбы при их поляризации.

Из курса общей физики известно, что работа сил трения может быть определена через криволинейный интеграл следующим образом

$$A_{\text{тр}} = \int_L \left(\vec{F}_{\text{тр}} d\vec{r} \right). \quad (2.1)$$

В выражении (2.1) величина $d\vec{r}$ означает величину элементарного перемещения молекулы в течении которого вектор силы трения является постоянным по модулю и по направлению.

В случае одномерного движения выражение (2.1) можно записать в следующем виде

$$A_{\text{тр}} = -r \int \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 dt. \quad (2.2)$$

В выражении (2.2) с одной стороны знак минус означает, что сила трения всегда направлена против перемещения тела, а с другой стороны следует иметь в виду, что интегрирование проводится по периоду колебаний электрического поля микроволнового излучения. На рис.2.1 приведен график изменения величины напряженности электрического поля.

С физической точки зрения процесс поляризации молекул рыбопродуктов следует понимать в виде вынужденного процесса, происходящего за счет падающего СВЧ излучения.

Пусть электрическое поле СВЧ волны изменяется по гармоническому закону, изображенного на рис.2.1:

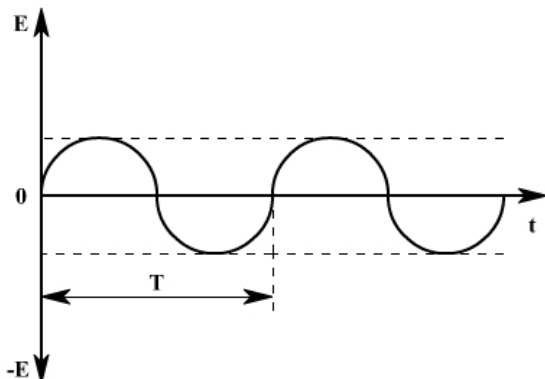


Рис.2.1

$$E = E_0 \cos \omega t. \quad (2.3)$$

В выражении (2.3) величина E_0 является амплитудой вектора напряженности электрического поля, а величина ω представляет из себя понятие циклической частоты СВЧ волны.

В данном случае закон вынужденных колебаний поляризующихся молекул относительно положения равновесия подчиняется следующему закону:

$$x(t) = A(\omega) \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (2.4)$$

В выражении (2.4) величина $A(\omega)$ представляет из себя понятие амплитуды вынужденных колебаний молекул рыбопродукта и определяется следующим выражением:

$$A(\omega) = \frac{q E_0}{m \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}. \quad (2.5)$$

В выражении (2.5) величина q означает понятие заряда молекулы диполя, величина ω_0 означает понятие собственной частоты ко-

лебаний молекулы, а величина $\beta = \frac{\Gamma}{2m}$ означает понятие коэффициента затухания колебаний молекулы.

Путем несложных, но громоздких расчетов можно исходя из выражения (2.2) с учетом (2.5) получить следующее выражение для величины работы сил трения:

$$A_{\text{тр}} = -\frac{1}{2} \Gamma A^2(\omega) \omega^2 T. \quad (2.6)$$

Энергия микроволновой волны затрачивается на преодоление работы сил трения между молекулами в процессе их поляризации, величина которой и определяется выражением (2.6). Эта энергия, как и в любом другом случае по преодолению работы сил трения переходит во внутреннюю энергию в виде тепла. Итак, согласно закона сохранения энергии можно записать:

$$W = -A_{\text{тр}} = \frac{1}{2} \Gamma A^2(\omega) \omega^2 T. \quad (2.7)$$

Так как электрическое поле микроволнового излучения изменяется по гармоническому закону, изображенного на рис.2.1, то необходимо рассматривать процесс усреднения энергии микроволнового излучения по периоду волны T . Это означает, что нам необходимо перейти к рассмотрению понятия мощности микроволнового излучения в виде:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{\frac{1}{2} \Gamma A^2(\omega) \omega^2 T}{T} = \frac{1}{2} \Gamma A^2(\omega) \omega^2. \quad (2.8)$$

Выражение (2.8) с учетом соотношения (2.6) далее принимает следующий вид:

$$P = \frac{\Gamma E_0^2 \omega^2 q^2}{2 \left((\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2 \right) m}. \quad (2.9)$$

Выражение (2.9) определяет величину энергии, идущей на нагрев обрабатываемого рыбопродукта. Проведем анализ выражения (2.9) относительно величин, в него входящих:

1). Из выражения (2.9) следует, что величина поглощаемой энергии микроволнового излучения пропорциональна квадрату амплитуды электрического поля. Это означает, что, изменяя режим работы микроволновой печи в 2 раза мы можем увеличить величину поглощаемой энергии в 4 раза, а, например, изменяя амплитуду поля в 10 раз, мы можем увеличить величину поглощаемой энергии в 100 раз и т.д.

2). Из выражения (2.9) также следует, что величина поглощаемой энергии рыбопродуктами пропорциональна квадрату частоты микроволнового излучения. Данный факт означает, что аналогично предыдущему пункту изменяя незначительно величину частоты излучения можно значительно увеличить величину поглощаемой энергии микроволнового излучения.

3). Величина ω_0 в выражении (2.9) означает понятие собственной частоты колебаний отдельной компоненты рыбопродукта (например, для молекулы воды). Учитывая, что рыбопродукты имеют сложную структуру, то для точного контроля технологии рыбообработки необходимо в выражении (2.9) проводить суммирование пор всем собственным частотам различных компонентов рыбы.

3. Технический расчет процесса поглощения энергии рыбой.

Выше было отмечено, что микроволновый процесс обработки рыбопродуктов очень затруднителен для общего случая и его можно провести только в простейших случаях.

Рассмотрим следующую упрощенную модель рыбообработки (рис. 2.2). Пусть обрабатываемый продукт находится в пространстве между двумя плоскими металлическими пластинами, к которым подводится электрическая энергия от генератора СВЧ.

Приведенные на рисунке пластины можно рассматривать в качестве плоского конденсатора, емкость которого имеет следующий вид:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}. \quad (3.1)$$

где S – площадь пластины, d – расстояние между пластинами.



Рис. 2.2

Ранее было отмечено, что механизм нагрева рыбопродуктов заключается в процессе поляризации связанных зарядов молекул рыбопродукта. Движение зарядов при поляризации можно рассматривать как поляризационный ток.

В электротехнике нагрев материальных тел электрическим током рассчитывается на основе закона Джоуля-Ленца, который имеет следующий вид для мощности подводимой СВЧ энергии.

$$P = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}. \quad (3.2)$$

В выражении (3.2) величина $U = E \cdot d$ представляет из себя величину напряжения между обкладками конденсатора, а величина R представляет из себя активное сопротивление обрабатываемого рыбопродукта.

Выше было отмечено, что диэлектрическая проницаемость рыбопродуктов при СВЧ нагреве является комплексной величиной, следовательно, комплексной величиной будет и сопротивление всей системы.

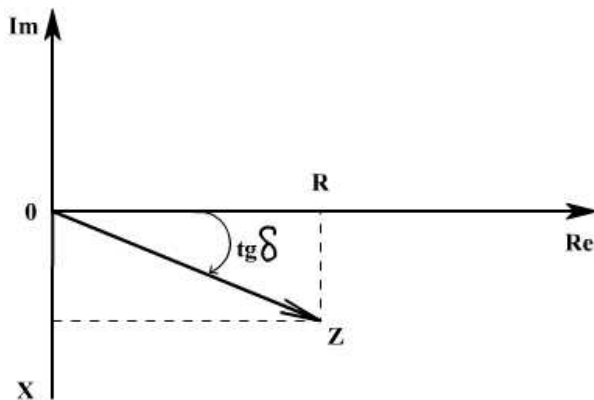


Рис. 2.3

Исходя из приведенного рисунка 2.3 можно записать следующее выражение для тангенса угла δ :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{X}{R}. \quad (3.3)$$

В выражении (3.3) величина реактивного или мнимого сопротивления X в процессе рыбообработки складывается только из реактивного сопротивления конденсатора, равного

$$X = \frac{1}{\omega C}, \quad (3.4)$$

тогда выражение (3.2) с учетом выражений (3.3) и (3.4) принимает следующий вид:

$$P = E^2 d^2 \operatorname{tg} \delta \omega C. \quad (3.5)$$

С учетом выражения (3.1) соотношение (3.5) можно преобразовать к следующему виду:

$$P = 2 \pi \varepsilon_0 \varepsilon f E^2. \quad (3.6)$$

Выражение (3.6) определяет величину мощности, которую можно получить от СВЧ генератора в процессе рыбообработки.

4. Выбор рабочего режима микроволнового нагрева рыбопродуктов.

В предыдущем параграфе было получено выражение для величины мощности P , которую можно получить от СВЧ генератора.

Подставляя величины соответствующих постоянных выражение (3.6) можно записать в следующем виде:

$$P = 0,556 \varepsilon f E^2 \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-10}. \quad (4.1)$$

В выражении (4.1) величина диэлектрической проницаемости для воды, из которой на 70 – 90% состоят рыба, и морепродукты составляет порядка ($\varepsilon \approx 81$). Величина частоты f для обычных СВЧ генераторов, называемых магнетронами, составляет порядка 915 – 2450 МГц. Величина тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ составляет порядка $0,5 \div 2$.

Особо следует отметить относительно выражения (4.1), что мощность P пропорциональна второй степени величины напряженности электрического поля E . Это означает, что изменять в рабочем режиме установки микроволнового нагрева величину напряженности в 2 раза, мы можем увеличить величину подводимой мощности в 4 раза. Увеличивая же напряженность электрического поля E в 10 раз, мы можем увеличить отбираемую мощность от СВЧ генератора в 100 раз. Казалось бы, увеличивая во много раз величину напряженности электрического поля E во много раз, можно было бы неограниченно увеличивать величину отбираемой СВЧ мощности от генератора, значительно ускоряя технологический процесс. Однако увеличение величины напряженности электрического поля E приводит к пробоем материальных тел. В данном случае промежуток рыбы между металлическими пластинами будет просто закорачиваться.

Что касается значения величины рабочей частоты f СВЧ генератора, то, как показывает опыт, эта величина оказывает сильное влияние на величину потери влажности обрабатываемого рыбопродукта. Дело в том, что для получения готового продукта необходимо избегать сильной потери влажности обрабатываемого рыбопродукта. Поэтому были предприняты многочисленные попытки теоретически оценить минимальное значение рабочей частоты f .

Кроме этого величина частоты f также оказывает влияние на величину глубины проникновения электромагнитного поля в вещество. В случае СВЧ обработки рыбопродуктов наиболее приемлемой формой обрабатываемого рыбопродукта является цилиндрическая форма объекта. Данный факт для рыбы выполняется сравнительно удовлетворительно.

5. Выбор массы обрабатываемого рыбопродукта.

Процесс рыбообработки методом СВЧ-нагрева включает в себя следующие два этапа:

1. За счет интенсивного подвода энергии от СВЧ генератора быстро нагревается обрабатываемый рыбопродукт от начальной температуры T_n до конечной температуры T_k , которая называется "температурой кулинарной готовности" и которая составляет обычно величину порядка $85 - 97^{\circ} \text{C}$.

2. После доведения температуры обрабатываемого рыбопродукта до значения T_k значение подводимой мощности снижается до уровня, необходимого для поддержания "температуры кулинарной готовности" с учетом возможных потерь энергии.

Выше мы отметили, что СВЧ энергия поглощается только поверхностью обрабатываемого рыбопродукта, а окружающий обрабатываемый рыбопродукт воздух в рабочей камере, стенки рабочей камеры и контейнер, в который заключен обрабатываемый рыбопродукт не нагреваются. В действительности на первоначальном этапе обработки рыбопродукта в результате резкого перепада температуры происходят теплотери в виде нагрева контейнера ($Q_{\text{конт}}$), нагрева воздуха и стенок камеры ($Q_{\text{ср}}$).

На основании сказанного запишем закон сохранения энергии в следующем виде:

$$Q_{\text{обр}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{конт}} + Q_{\text{ср}}. \quad (5.1)$$

В выражении (5.1) величина $Q_{\text{пол}}$ означает полезную величину теплоты, идущую на нагрев поверхности рыбы. Запишем для величины $Q_{\text{пол}}$ следующее выражение:

$$Q_{\text{пол}} = c \cdot m \cdot \Delta T, \quad (5.2)$$

где величина c называется удельной теплоемкостью, а величина m представляет из себя величину массы обрабатываемого продукта, а величина $\Delta T = T_k - T_n$ представляет из себя величину интервала температурного нагрева.

Следовательно к.п.д. процесса рыбообработки определяется следующим выражением:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{обр}}} = \frac{c m \Delta T}{Q_{\text{обр}}}. \quad (5.3)$$

Величина удельной теплоемкости c в выражении (5.3) является известной величиной и составляет обычно величину 3,4 – 42 кДж / кг · К. Величина интервала температур ΔT также является известной величиной. Поэтому для повышения к.п.д. рыбообработки необходимо повышать массу обрабатываемого продукта.

Величина массы обрабатываемого рыбопродукта должна удовлетворять двойному нестроному неравенству:

$$m_{\text{min}} \leq m_{\text{opt}} \leq m_{\text{max}}. \quad (5.4)$$

Двойная форма записи выражения (5.4) обусловлена следующими двумя положениями:

1. Если масса обрабатываемого рыбопродукта будет меньше значения m_{min} , то СВЧ энергия будет использоваться не полностью и, следовательно, часть подводимой мощности будет возвращаться назад в генератор, что будет приводить к ухудшению режимов его работы.

2. С другой стороны, при увеличении массы обрабатываемого рыбопродукта выше значения m_{max} , будет происходить снижение величины удельной поглощаемой мощности, что будет приводить к увеличению потерь в окружающую среду и к снижению к.п.д. процесса.

Что касается возможности определения максимального значения массы обрабатываемого рыбопродукта по геометрическим размерам рыбы, то этот процесс оказывается трудным. Поэтому на практике поступают следующим образом. Так как плотность рыбы составляет порядка 1000 – 1100 кг / м³, т.е. является близкой по величине к плотности воды, то для определения максимально возможного значения массы обрабатываемого рыбопродукта рабочую камеру заполняют водой.

Тема №3. Обработка морепродуктов инфракрасным излучением

1. Основные характеристики инфракрасного излучения.

Тепловым излучением называется электромагнитное излучение, испускаемое телами за счет внутренней энергии.

При обработке морепродуктов применяется инфракрасный диапазон теплового излучения. Причем, если инфракрасная область занимает диапазон длин волн порядка $0,76 - 350$ мкм, то при обработке рыбы используется диапазон от 1 до 6 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6}$), а СВЧ диапазон занимает от 1 мкм до 1м.

В пищевой промышленности инфракрасное излучение создается различными нагретыми телами: нитями ламп, плитами и т.д.

Для технологии процесса рыбообработки необходимо знать следующие основные характеристики теплового излучения:

1). Интегральная излучательная способность тела.

Данная величина характеризует поток энергии теплового излучения в единицу времени с единицы поверхности и по всем длинам волн при данной температуре тела T . Эта величина обозначается следующим образом $E(T)$.

2). Спектральная излучательная способность тела.

Данная величина характеризует поток энергии теплового излучения в единицу времени, с единицы поверхности и в единичном диапазоне длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$ при данной температуре тела T . Данная величина обозначается, как $E(\lambda, T)$ и определяется следующим образом:

$$E(\lambda, T) = \frac{dE(T)}{d\lambda}. \quad (1.1)$$

Из определения данной величины можно сделать вывод относительно того, что данная величина является очень важной в технологии рыбообработки.

3). Поглощательная способность тела.

Данная величина характеризует долю поглощенного телом потока энергии теплового излучения $d\Phi_{\text{погл}}$ от величины падающего потока излучения $d\Phi_{\text{пад}}$ и определяется следующим выражением:

$$a(\lambda, T) = \frac{d\Phi_{\text{погл}}}{d\Phi_{\text{пад}}}. \quad (4.2)$$

Из определения данной величины следует, что она характеризует интенсивность рыбообработки.

4). Отражательная способность тела.

Данная величина характеризует долю отраженного потока энергии теплового излучения $d\Phi_{\text{отраж}}$ от величины падающего потока теплового излучения $d\Phi_{\text{пад}}$ и определяется следующим образом:

$$\rho(\lambda, T) = \frac{d\Phi_{\text{отраж}}}{d\Phi_{\text{пад}}}. \quad (1.3)$$

Данная величина очевидно характеризует долю энергии теплового излучения, которая не используется в процессе рыбообработки и поэтому она характеризует величину к.п.д. процесса.

5). Пропускательная способность тела.

Данная величина характеризует долю потока энергии теплового излучения, пропускаемого телом $d\Phi_{\text{проп}}$ от величины падающего потока энергии $d\Phi_{\text{пад}}$ и определяется следующим образом:

$$d(\lambda, T) = \frac{d\Phi_{\text{проп}}}{d\Phi_{\text{пад}}}. \quad (1.4)$$

Данная величина характеризует интенсивность процесса рыбообработки по глубине объекта.

Согласно выражений (1.2), (1.3) и (1.4) можно записать следующее соотношение, определяющее связь поглощательной, отражательной и пропускательной способностями материального тела:

$$a(\lambda, T) + \rho(\lambda, T) + d(\lambda, T) = 1. \quad (1.5)$$

2. Основные законы теплового излучения.

В природе существуют очень большое многообразие материальных тел, поэтому возникает необходимость поиска тела, относительно которого можно описывать поведение других тел.

Таким телом является абсолютно черное тело, которого в природе не существует, а его можно рассматривать в качестве модели. Под данной моделью можно рассматривать замкнутую полость с небольшим отверстием. Стенки данной полости нагреваются, а излучение, вы-

ходящее из отверстия полости и называется излучением абсолютно черного тела.

Объяснить природу теплового излучения можно только с квантовой точки зрения. Согласно которой излучение испускается телом не непрерывно, а в виде отдельных порций, называемых квантами, энергия кванта пропорциональна частоте излучения:

$$E_{\text{кв}} = h \cdot \nu. \quad (2.1)$$

В выражении (2.1) величина $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. называется постоянной Планка.

Для абсолютно черного тела Макс Планк получил точную теоретическую формулу для спектральной излучательной способности абсолютно черного тела $E(\lambda, T)$. Графическую интерпретация данной формулы приведена на рис.3.1:

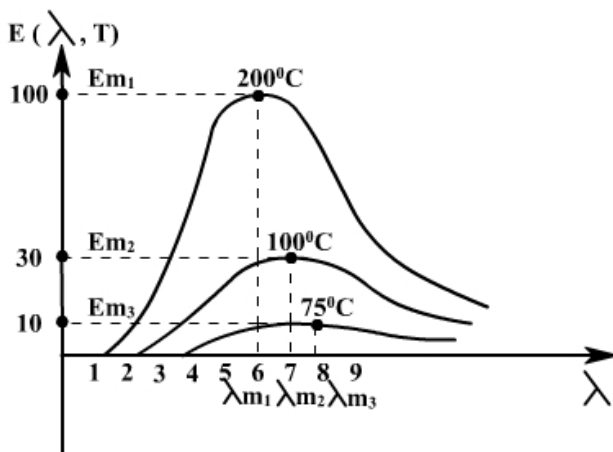


Рис.3.1

Для величины спектральной излучательной способности абсолютно черного тела, изображенной на рис.3.1 существуют следующие закономерности.

1). Закон смещения Вина.

Из приведенного рисунка видно, что с увеличением температуры T максимум спектральной излучательной способности абсолютно

черного тела смещается в область более коротких длин волн. Этот факт теоретически записывается следующим образом:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad (2.2)$$

в выражении (2.2) величина $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К называется первой постоянной Вина.

2). Закон Стефана-Больцмана.

Интегральная излучательная способность абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры. Данный факт носит название закона Стефана-Больцмана и записывается в следующем виде:

$$E(T) = \sigma \cdot T^4. \quad (2.3)$$

в выражении (2.3) величина $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м² называется постоянной Стефана-Больцмана.

3). Максимум спектральной излучательной способности абсолютно черного тела пропорционален пятой степени абсолютной температуры. Данный факт записывается следующим образом:

$$E_{\max}(\lambda, T) = C \cdot T^5. \quad (2.4)$$

В выражении (2.4) величина $C = 1,3 \cdot 10^{-5}$ Вт/м³ называется второй постоянной Вина.

4). Отношение спектральной излучательной способности к поглощательной способности при данной температуре для любого тела есть величина постоянная и равная излучательной способности абсолютно черного тела:

$$\frac{e(\lambda, T)}{a(\lambda, T)} = E(\lambda, T). \quad (2.5)$$

3. Технология обработки рыбопродуктов инфракрасным излучением.

Физический механизм нагрева рыбопродуктов заключается в том, что энергия инфракрасного излучения, проникая вглубь ткани обрабатываемого рыбопродукта, поглощается молекулами рыбы. При этом увеличивается энергия теплового движения молекул и обрабатываемый рыбопродукт нагревается.

Применение инфракрасного излучения для целей обработки пищевых продуктов началось в 40-ые годы во Франции в сардинно-шпротном производстве. Особенность данного вида приготовления консервов заключается в том, что ткани различных рыб характеризуются различными избирательными видом способности поглощения, поэтому для каждого вида рыбопродуктов можно подобрать соответствующий частотный диапазон инфракрасного излучения.

Многочисленными исследованиями установлено, что проникновение инфракрасного излучения вглубь рыбопродукта происходит на величину до 3 см. При этом термическая обработка рыбы инфракрасным излучением осуществляется двумя способами:

1). Просушка с пропеканием.

В данном случае осуществляется постепенный прогрев тканей рыбы на глубину инфракрасным излучением с длиной волны или ниже 2,5 мкм, или выше 3,5 мкм. Данный диапазон соответствует температурному диапазону или ниже 800 К или выше 1200 К, где находится максимум излучательной способности.

2). Бланшировка.

В данном случае происходит быстрый прогрев поверхности рыбопродукта, за счет очень сильного поглощения тканями рыбы инфракрасного излучения. Для длин волн этот диапазон определяется следующим двойным неравенством $2,5 \text{ мкм} < \lambda_{\text{max}} < 3,5 \text{ мкм}$. В данном случае максимум инфракрасного излучения заключается в следующем температурном режиме $800 \text{ К} < T < 1200 \text{ К}$.

При обработке рыбопродуктов инфракрасным излучением применяются специальные лампы мощностью 250 Вт и 500 Вт со специальной конструкцией и с различными отражателями. Лампы инфракрасного излучения имеют более низкую температуру накала (2200-2500)К вместо (2990-3000)С⁰ для осветительных ламп. Следует иметь в виду, что в спектре любого нагретого тела имеются лучи с длиной волны больше 0,76 мкм, поэтому за счет понижения температуры нагрева нити лампы удастся получить энергию полезного инфракрасного излучения до 80-90% с энергетическим к.п.д. до 70%.

Тема №4. Электрокопчение рыбных продуктов

1. Теоретические основы электрокопчения.

Копчение как способ консервирования пищевых продуктов применяется с глубокой древности. За длительный период существования коптильных установок они оснащались все более совершенной техникой, но технология копчения оставалась практически неизменной. Объясняется это тем, что на скорость процессов тепло- и массообмена, лежащих в основе технологии копчения, действие применявшихся внешних факторов малоэффективно.

Радикально усовершенствовать технологию копчения стало возможным с применением новых физических методов воздействия на продукт. К новым физическим методам воздействия, применяемым при копчении, относится процесс копчения рыбы в электростатическом поле коронного разряда.

Работы по созданию электрокоптильных установок начались проводится в России и ряде других стран начиная с 1949 года. На электрокоптильных установках нашей страны применяется технологическая схема, впервые предложенная инженерами М.И. Калитиной и А.А. Калитиным и осуществленная на электрокоптильной установке Киевского рыбокомбината Украины. В этой схеме горячего электрокопчения все процессы идут в такой последовательности:

- 1). Подсушка;
- 2). Осаждение дыма (собственно копчение);
- 3). Пропекание;
- 4). Охлаждение.

Внедрение этой технологической схемы дало возможность эффективно использовать электрическую энергию для активизации процесса горячего копчения рыбы и получать продукт, по качеству не уступающий продукту обычного горячего копчения.

Термическая обработка продукта при электрокопчении осуществляется с помощью инфракрасных лучей, свойства которых изложены в предыдущей теме. Принципиально новым при электрокопчении является процесс ускоренного осаждения дыма на продукт в коптильной камере, которое происходит в электрическом поле коронного разряда.

2. Электрический разряд в газах.

В предыдущем параграфе было отмечено, что процесс электрокопчения осуществляется посредством помещения обрабатываемого рыбопродукта в область коронного разряда.

Таким образом, для того, чтобы понять технологию электрокопчения необходимо сначала рассмотреть особенности коронного разряда. Все разновидности газовых разрядов можно разделить на два вида:

1). Самостоятельный газовый разряд.

В данном случае носители тока в газовом разряде появляются за счет электрического поля между разноименно заряженными электродами (см. рис.4.1)

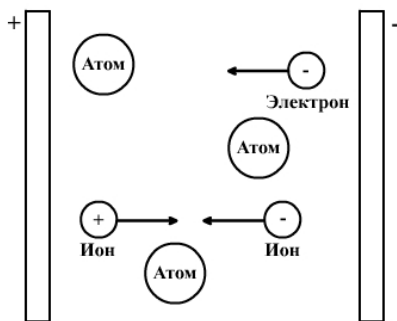


Рис.4.1.

В любом газе имеется определенная доля свободных электронов. Эти электроны ускоряются в электрическом поле межэлектродного промежутка. При своем движении электроны сталкиваются с нейтральными атомами. Различают два вида соударений электрона с атомом. Во-первых, когда энергия электрона невелика, то электрон передает часть своей энергии атому и атом переходит в возбужденное состояние, когда же энергия электрона велика, то электрон способен ионизовать нейтральный атом, который, теряя электрон, становится положительно заряженным ионом. После ионизации первоначальный электрон и появившийся в результате ионизации атома электрон участвуют в дальнейшем в ионизации уже двух атомов. Процесс ионизации далее носит нарастающий характер и в данном случае процесс появления большого количества электронов называют электронной лавиной по аналогии лавины с гор, когда начав-

ший движение небольшой камень может приводить к сильным обвалам и сходам снежных лавин. Данный процесс соударений электронов с атомами носит неупругий характер. Во-вторых, если нейтральный атом принимает движущийся электрон, то в результате этого он становится отрицательно заряженным ионом. Данный вид соударений электронов с атомами носит неупругий характер.

2). Несамостоятельный газовый разряд.

В данном случае образование носителей тока в газовом промежутке осуществляется за счет внешнего воздействия от различных источников излучения (ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма лучи и т.д.).

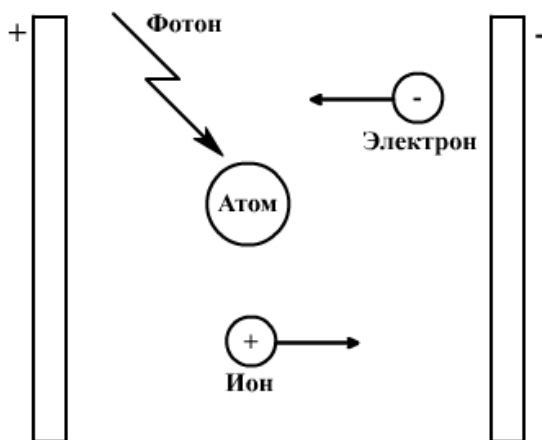


Рис.4..2.

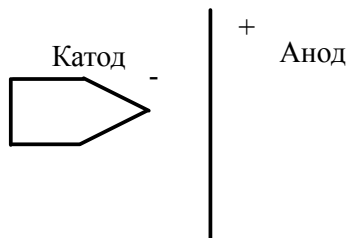
В данном случае напряжение на электродах не является очень сильным, и разряд прекращается после прекращения деятельности внешнего источника излучения.

3. Особенности коронного разряда.

Рассмотрим газовый промежуток между двумя электродами, один из которых имеет очень маленький радиус кривизны. В данном случае обычно говорят, что коронирующий электрод выполняется в виде острия. Изобразим данный факт на рис. 4.3:

Будем увеличивать напряжение между электродами. Сначала между электродами возникает самостоятельный газовый разряд

за счет того, что внешние источники в виде излучения будут слегка ионизовывать газовый промежуток, в котором всегда имеется не-



большое число свободных электронов. При некотором значении

Рис.4.3.

напряжения U_k начинается коронный разряд. Причем самостоятельный коронный разряд концентрируется около острейшего электрода. Одни атомы ионизуются и создают дополнительные свободные электроны, которые вместе с первоначальными электронами создают электронную лавину. Что касается других нейтральных атомов, то они или возбуждаются, или становятся отрицательно заряженными ионами. Возбужденные атомы, переходя в нормальное состояние, излучают фотон. Поэтому коронный разряд, возникающий около коронирующего электрода светится, а остальной межэлектродный промежуток является темным.

Если коронирующий электрод является отрицательным электродом, то корона называется отрицательной короной, а если коронирующий электрод является положительно заряженным, то корона называется положительной короной.

4. Условие стационарного коронного разряда.

Если ввести в рассмотрение понятие электронной лавины в виде процесса быстрого нарастания числа электронов за счет ионизации первичными электронами нейтральных атомов, то при коронном разряде необходимо рассматривать две электронные лавины, одна начальная, другая следует потом.

При первоначальной лавине происходит образование положительных ионов и дополнительных электронов, образующих саму лавину. Так как ионы более массивны чем электроны, то они движутся медленнее и поэтому электроны быстрее успевают уйти из разрядного промежутка, а ионы при этом остаются в разрядном промежутке.

Данные ионы, сталкиваясь между собой, дают новый поток электронов, которые и представляют собой вторую электронную лавину, которая образует новые положительные ионы.

Если при этом ввести в рассмотрение величину

$$\mu = \frac{n_1}{n_2},$$

где n_1 – концентрация электронов, образовавшихся от первоначальной лавины, а n_2 – концентрация электронов, образовавшихся от вторичной лавины, то в зависимости от величины μ возможны следующие три случая развития коронного разряда. Рассмотрим эти случаи по отдельности:

1). $\mu_1 > 1$. В данном случае происходит непрерывное нарастание числа электронов и в разрядном промежутке происходит явление пробоя, в результате чего промежуток закорачивается.

2). $\mu < 1$. В данном случае разряд будет со временем затухать из-за недостатка электронов в промежутке для целей поддержания газового разряда.

3). $\mu = 1$. В данном случае получается условие стационарного коронного разряда.

Условие стационарности протекания коронного разряда приводит к падению напряжения на области темного пространства разрядного промежутка, где и развиваются все три стадии копчения рыбопродукта: во- первых, процесс зарядки дымовых частиц, во- вторых, процесс движения дымовых частиц к поверхности рыбы, в- третьих, процесс осаждения дымовых частиц на поверхности рыбы.

5. Зарядка дымовых частиц в коптильной камере.

Рассмотрим первую стадию копчения рыбопродукта в виде процесса зарядки частиц дыма в коптильной камере. В предыдущем параграфе было отмечено, что коронный разряд имеет место только

вблизи коронирующего электрода. Остальной промежуток представляет из себя пространство, где процессы ионизации очень слабые и в основном происходит образование отрицательных ионов, которые движутся к поверхности положительного электрода, т.е. к поверхности рыбы. На своем пути ионы оседают на дымовых частицах и заряжают их.

Следует иметь в виду, что частицы могут быть частично заряжены, а с другой стороны они находятся в электрическом поле разрядного промежутка. Рассмотрим этот процесс схематически с помощью следующего рисунка 4.4.

Из приведенного рисунка видно, что в электрическом поле разрядного промежутка происходит поляризация молекул дымовых частиц, приводящая к разделению связанных зарядов таким образом, что на правом крае частицы будут скапливаться положительные заряды, а на левом крае дымовой частицы будут скапливаться отрицательные заряды. Тогда можно заключить, что между левой частицей и ионом существует сила отталкивания, а между правой частицей и ионом существует сила притяжения. Это означает, что

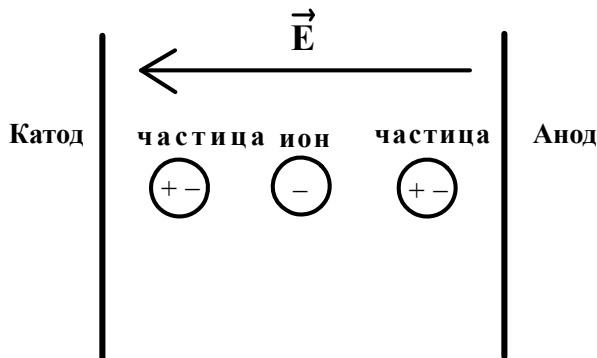


Рис.4.4.

когда ион за счет силы притяжения достигает поверхности частицы, то он ее заряжает в том случае, когда сумма сил притяжения между частицей и ионом превысит силу их отталкивания. На данный процесс также оказывает влияние тепловое движение ионов. Причем для частиц радиуса $r < 0,5$ мкм заряд частицы осуществляется исключительно тепловым движением.

Процесс зарядки может длиться десятки минут, например, при тепловой диффузии ионов величина заряда частицы дыма пропорциональна логарифму времени.

6. Движение заряженных частиц к поверхности рыбы.

В данном параграфе рассмотрим вторую и третью стадии копчения рыбы. Во-первых, рассмотрим процесс движения заряженной дымовой частицы к поверхности рыбы. Следует иметь в виду, что существуют три вида коптильных установок вертикального, горизонтального и смешанного расположения элементов установки.

На движущуюся заряженную частицу дыма действуют два вида сил:

1). Электрическая сила, ускоряющая частицу в направлении осадительного электрода.

$$F_1 = q E, \quad (6.1)$$

где q – заряд дымовой частицы, а E – напряженность электрического поля.

2). Сила вязкого трения:

$$F_2 = 6 \pi \nu \eta r, \quad (6.2)$$

где величина η – определяет понятие коэффициента вязкого трения, r – радиус заряженной дымовой частицы, ν – скорость движения заряженной дымовой частицы.

Движение дымовой частицы осуществляется под действием равнодействующей силы:

$$F_{\text{равн}} = F_1 - F_2. \quad (6.3)$$

Знак минус в выражении (6.3) означает, что силы вязкого трения приводят к замедлению движения дымовой частицы.

На первоначальном моменте движения, когда скорость дымовой частицы или равна нулю или принимает небольшие значения движение дымовой частицы будет ускоренным и определяться в основном величиной первого слагаемого выражения (6.3). По мере увеличения скорости движения дымовой частицы величина второго слагаемого в выражении (6.3) начинает увеличиваться, что будет

приводить к уменьшению величины равнодействующей силы $F_{\text{равн}}$ и, следовательно, ускорение частицы начинает уменьшаться до нуля, когда сила со стороны вязкого трения не сравняется с величиной силы со стороны электрического поля. В данном случае дымовая частица будет двигаться равномерно со скоростью, которую можно определить путем приравнивания правых частей выражений (6.1) и (6.2). Итак, величина скорости равномерного движения дымовой частицы в стационарном режиме будет определяться следующим соотношением:

$$v = \frac{F_1}{6\pi\eta r}. \quad (6.3)$$

Оценки, проводимые согласно выражения (6.3), составляют порядка 0,5 м/с, что согласуется с данными непосредственных измерений.

Что касается движения незаряженных дымовых частиц, то на них будет действовать сила, определяемая следующим выражением:

$$F_3 = E \frac{dE}{dx} r^3 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}, \quad (6.4)$$

где величина $\frac{dE}{dx}$ – градиент напряженности электрического поля

Следует иметь в виду, что сила F_3 , определяемая выражением (6.4), приводит к движению незаряженных дымовых частиц в сторону большего поля, т.е. в направлении к коронирующему электроду. Эта сила возникает только в случае, когда диэлектрическая проницаемость дымовых частиц отличается от диэлектрической проницаемости окружающего частицы газа в разрядном промежутке.

Благодаря большой концентрации частиц у коронирующего электрода они могут сильно зарядиться и приобрести значительную скорость в обратном направлении. Следовательно, еще не заряженные частицы приобретают скорость и притягиваются к коронирующему электроду. При этом более крупные частицы оседают на нити электрода, увеличивая его толщину, а более мелкие частицы проле-

тают дальше и осаждаются на стенках камеры, имеющей одинаковый потенциал с осадительным электродом - рыбой.

Для предотвращения оседания дыма на стенки камеры на некотором расстоянии от коронирующего электрода с наружной стороны от него располагается металлическая плита, соединенная с коронирующим электродом. При правильном расположении этой плиты часть заряженных частиц теряет скорость, останавливается и под действием поля плиты движется обратно к осадительному электроду.

На движение дымовых частиц в коптильной камере оказывают влияние вихревые потоки дыма, а также так называемый электрический ветер. Сущность этого явления состоит в том, что поток ионов,двигающихся под действием электрического поля, оказывает механическое, так называемое пондеромоторное воздействие на частицы дыма, увеличивая их скорость в направлении осадительного электрода.

Экспериментально установлено, что влияние электрического ветра оказывается заметным только при скорости потока дымовых частиц до величины 1 м/с. Оптимальная же скорость дымовых частиц в установившемся стационарном режиме составляет порядка 0,5 м/с. При такой скорости движения дымовых частиц электрический ветер оказывает заметное влияние на скорость движения заряженных дымовых частиц. Сильное влияние на движение дымовых частиц малых линейных размеров электрический ветер оказывает в случае радиуса дымовых частиц $r \leq 1$ мкм.

7. Осаждение дымовых частиц на поверхность рыбы.

Итак, заряженная дымовая частица подошла к осадительному электроду – поверхности рыба. После этого начинается процесс осаждения дымовых частиц на поверхность рыбы. Основную роль в осаждении заряженных дымовых частиц на поверхность рыбы играет электрическое поле, свойства самих дымовых частиц и свойства поверхности рыбы. Кроме того, на процесс осаждения частиц влияют скорость, температура, влажность и состав дыма, размеры и форма дымовых частиц и многие другие.

Основными требованиями для осуществления процесса осаждения частиц на поверхность обрабатываемого рыбопродукта являются следующие два требования:

1). Равномерное распределение осаждения частиц дыма на поверхность рыбы. Очевидно, что для этой цели необходимо использовать длинные коронирующие электроды до 3 м длины.

2). Требование для лучшего прилипания дымовых частиц к поверхности рыбы, для чего, во-первых, заряд частиц должен стекать с поверхности рыбы для этого ее помещают на заземленную поверхность, этим достигается и условие техники безопасности. Для целей более лучшего прилипания рыбу перед копчением просушивают с последующим пропеканием на основе инфракрасного излучения.

Рассмотрим качественно процесс осаждения заряженных дымовых частиц на поверхность рыбы. Частичка дыма, достигшая осадительного электрода – поверхности рыбы, благодаря кулоновскому притяжению оседает на электроде и удерживается электрическими силами до тех пор, пока полностью не отдаст свой заряд. Став нейтральной, частица она не может покинуть электрод, так как прилипает к поверхности рыбы. Отсюда следует очень важная проблема предварительной обработки поверхности рыбы перед процессом копчения. Этот факт можно осуществить на основе процесса просушки. Данный процесс просушки должен быть отработан так, чтобы на поверхности рыбы удерживалось бы максимальное количество осевших на нее частиц дыма.

8. Панировка рыбы в электростатическом поле коронного разряда.

Рыбные консервы в томатном соусе и в масле приготавливают из обжаренной рыбы. Перед обжаркой поверхность рыбы покрывается равномерно тонким слоем муки. До недавнего времени этот процесс на предприятиях рыбной промышленности производился вручную. Разработанные для этой цели панировочные машины имели очень большой недостаток, заключающийся в очень больших потерях муки, поступающей в рабочую камеру из-за того, что узлы машины увлажнялись за счет поступающей на обработку рыбы и на узлах в результате этого происходил очень интенсивный процесс тестообразования.

В настоящее время для целей панировки рыбы применяются новые физические методы осаждения муки на поверхность рыбы.

Одним из таких методов является процесс осаждения муки на поверхность рыбы в поле коронного разряда, аналогичное процессу осаждения дымовых частиц на поверхность рыбы при электрокопчении.

Сущность данного метода заключается в том, что рыбу помещают на заземленный конвейер, который проходит между двумя коронирующими электродами. При подаче между электродами высокого напряжения возникает коронный разряд. В зону коронного разряда в распыленном виде вдувается мука. Частички муки заряжаются по принципу, рассмотренному ранее при электрокопчении. Заряженные частички муки движутся к осадительному электроду, роль которого выполняет поверхность рыбы, и оседают на ее поверхности.

Положительной стороной данного метода панировки рыбы является тот факт, что подачу распыленной муки можно регулировать таким образом, чтобы она полностью осаждалась на поверхности рыбы. Этим самым устраняется необходимость процесса сбора осыпающейся муки и подачи ее на повторную обработку.

Первые же испытания панировочной машины с электростатическим осаждением муки показали, что она имеет более высокие показатели, чем машина с механическим процессом нанесения муки.

Заключение

В настоящее время вопросам повышения эффективности производства и качества готовой продукции уделяется большое внимание.

Применительно к отраслям пищевых производств и общественному питанию эти требования должны найти свое отражение в сокращении продолжительности технологических процессов, снижении удельного расхода энергии, уменьшении потерь пищевого сырья при его обработке, повышении качества готовой продукции, повышении производительности труда и улучшения санитарно-гигиенических условий работы.

Успешному решению поставленных задач будет во многом способствовать использование рассмотренных в методическом пособии современных физических методов обработки морепродуктов, а именно с использованием методов электрокопчения, обработки гидробионтов инфракрасным излучением и особенно с использованием диэлектрического метода нагрева для целей приготовления, размораживания, разогрева, выпечки, и сушки пищевых продуктов.

Литература

1. Шерстюк В.Н., Беляев П.Д. Физические методы обработки рыбы. – М., Пищевая промышленность, 1971.
2. Рогов И.А., Горбатов А.В. Новые физические методы обработки мясопродуктов. – М., Пищевая промышленность, 1969.
3. Новые физические методы обработки пищевых продуктов. – Киев, Гостехиздат, 1963.
4. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов. – М., Пищевая промышленность, 1981.

Содержание

Введение	3
Тема №1. Электрические характеристики рыбы и рыбопродуктов	4
1. Строение рыбы и рыбопродуктов	4
2. Дипольный электрический момент	5
3. Полярные и неполярные молекулы	7
4. Шкала электромагнитных волн	11
5. Электронная поляризация диэлектрических материалов	12
6. Ориентационная поляризация диэлектрических материалов..	13
7. Измерение электрических характеристик рыбы и рыбных продуктов	15
Тема №2. Микроволновая обработка рыбы и рыбопродуктов...	17
1. Физические основы микроволновой обработки рыбы и рыбопродуктов.....	17
2. Моделирование одномерного процесса поглощения энергии рыбопродуктами.....	19
3. Технический расчет процесса поглощения энергии рыбой....	22
4. Выбор рабочего режима микроволнового нагрева рыбопродуктов.....	24
5. Выбор массы обрабатываемого продукта.....	26
Тема №3. Обработка морепродуктов инфракрасным излучением.....	26
1. Основные характеристики инфракрасного излучения.....	27
2. Основные законы теплового излучения.....	29
3. Технология обработки рыбопродуктов инфракрасным излучением.....	31
Тема №4. Электрокопчение рыбных продуктов.....	32
1. Теоретические основы электрокопчения.....	32
2. Электрический разряд в газах.....	33
3. Особенности коронного разряда.....	35

4. Условия стационарного коронного разряда.....	36
5. Зарядка дымовых частиц в коптильной камере.....	37
6. Движение заряженных частиц на поверхность рыбы.....	39
7. Осаждение дымовых частиц на поверхность рыбы.....	41
8. Панировка рыбы в электростатическом поле коронного разряда.....	42
Заключение.....	44
Литература.....	45
Содержание.....	46