

Як видно з рисунка, пульсуючі потоки (пряма 1) для періодичного процесу при незначних числах Re мають дещо більшу ефективність дії ніж для неперервного (пряма 2). В цих умовах структура потоку наближається до ідеального перемішування.

Для неперервного процесу картина дещо інакша. Графік (пряма 2) має менший кут нахилу, тому що на певній відстані від транспортувального віброперемішувального присторою відбувається затухання пульсуючих турбулентних струменів, генерованих соплами віброуючої перегородки. Разом з тим, збільшення інтенсивності коливань вібротранспортувальної системи може спричинити поздовжнє перемішування в апараті та порушити умови неперервності процесу.

Висновки.

Результати дослідів показали, що віброекстрактори здатні працювати в режимі інтенсивної знакомінної турбулізації потоку суміші взаємодіючих фаз. Така активізація поверхні веде до різкого зростання рушійної сили та зменшення дифузійного опору процесу. Запропонована методика оцінення зовнішнього масообміну з використанням модельних зразків може бути поширена для цих цілей на інші типи екстракційної апаратури.

Література

1. Зав'ялов В.Л., Лобок О.П., Попова Н.В., Бодров В.С. Математична модель зовнішнього масообміну періодичного віброекстрагування із рослинної сировини // Наукові праці О НАХТ. - №32. – с. 88-93.
2. Стабніков В.Н., Лобода П.П. Исследование влияния низкочастотных механических колебаний на скорость массоотдачи при растворении твердых тел // Массообменные процессы хим. технологии. Сб. аннотаций. – Ленинград: Химия, 1965. – С. 124 – 126.
3. Пат. 25090 України. Вібраційний екстрактор / В.Л.Зав'ялов, Н.В.Попова. Заявл. 22.03.07; Опубл. 25.07.07 Бюл. №1. – С. .
4. Пат. 27705 України. Вібраційний екстрактор / В.Л.Зав'ялов, В.С.Бодров, Ю.В.Запорожець; опубл. 12.11.07, Бюл. №18. – С. .
5. Зав'ялов В.Л., Запорожець Ю.В., Лобок О.П. Дослідження структури реальних потоків в екстракторі колонного типу вібраційного системного розділення фаз // Наук. праці ОНАХТ. – 2008. - №32. – С. 93-97.
6. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой / П.Г.Романков, В.Ф.Фролов. – Л.: Химия, 1990. – С.92.
7. Стратиенко О.В., Лобода П.П., Лысянский В.М. Влияние низкочастотных механических колебаний на экстракцию сахара из свекличной стружки. – Изв. ВУЗов, Пищевая технология, 1970, №5, с. 88 – 92.

УДК 664.834.2

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ «СИСТЕМНОЙ ВОДЫ» МЕТОДАМИ ДИЭЛЬКОМЕТРИИ

Потапов В.А., д-р техн. наук, профессор,

Цуркан Н.М., канд. техн. наук, доцент, Шевченко С.А., аспирант

Харьковский государственный университет питания и торговли, г. Харьков

Рассмотрен вопрос определения состояния воды во влагосодержащем модельном материале на основе измерений диэлектрической проницаемости для различных значений его влагосодержания.

The question of determining the state of water in water-containing model material is considered on the basis of measurements of the dielectric constant for different values of its moisture content.

Ключевые слова: термодинамическая система, системная вода, диэлектрометрические измерения, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь.

Данная работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 0108U001333 «Исследование состояния и структуры воды в пищевых продуктах методами ЯМР и ЭПР-спектроскопии» кафедры энергетики и физики Харьковского государственного университета питания и торговли.

Не смотря на значительное количество научных работ, сегодня нет единой теории, как относительно структурной модели «объемной» или «обычной» воды, так и ее взаимодействия с другими веществами. Это взаимодействие может быть исследовано только при объединении двух методов: термодинамическо-

го, который изучает свойства воды и молекулярно-кинетического, раскрывающего механизм взаимодействия молекул.

Поскольку в нашем случае объектом исследования является вода, которая находится в пищевом сырье или материале, независимо от исследовательского приема, данный образец является макроскопическим объемом, который можно представить как определенную макроскопическую (термодинамическую) систему. Поэтому предлагается воду, которая «иммобилизована» данной системой с помощью взаимодействий разных типов, т.е. находится в пределах модельной термодинамической системы, называть «системной водой».

Общеизвестным есть деление воды в разнообразных системах, включая пищевое сырье и материалы, на «связанную» и «свободную». Но, такая формулировка есть сугубо индивидуальной и специфической для каждого объекта исследований или сырья, которое подлежит определенной обработке. Наиболее полная классификация форм связи влаги с материалом, в зависимости от энергии необходимой на ее удаление, была предложена П. А. Ребиндером [1].

В большинстве влагосодержащих материалов вода имеет различные формы связи с твердым скелетом вещества. Связанная вода прочно адсорбирована на поверхности мицелл и на ее испарение затрачивается значительное количество энергии, она является плохим растворителем и находится под высоким давлением, вызванным молекулярными силами. Адсорбированная связанная вода по своим свойствам приближается к свойствам твердого тела. В ряде исследований [2] было показано, что молекулы адсорбированной воды в веществах с относительно низким влагосодержанием расположены менее упорядочено, а во влажных – более упорядочено, чем в воде, находящейся в свободном состоянии (объемной воде). Таким образом, слой воды на границе с твердым адсорбентом имеет структуру и свойства промежуточные между льдом и объемной водой. Наиболее слабую энергию связи по классификации Ребиндера имеет физико-механическая форма связи, при которой вода удерживается материалом в неопределенных соотношениях и может иметь структурный характер.

«Системная вода» это вода, которая «связана» макроскопической системой (энергия связи, как минимум превышает гравитационную) и в целом определяет технологические свойства влагосодержащего пищевого сырья. Комплексное исследование ее состояния в пищевых объектах (термодинамическими и молекулярно-кинетическими методами) даст возможность разрабатывать наиболее эффективные технологические процессы их переработки и хранения. При этом результаты, полученные различными методами, должны подвергаться корреляционному анализу для однозначности и полноты оценки состояния исследуемой системы.

Одними из составляющих комплекса исследовательских методов, основными из которых являются методы ЯМР и ЭПР-спектроскопии, могут быть использованы методы диэлькометрии, которые были разработаны и использовались для определения влагосодержания различных материалов. Однако, для интерпретации состояния влаги во влагосодержащих материалах в зависимости от характера изменения их физических свойств они практически не применялись.

Так как большинство пищевых продуктов представляет собой гидрофильные дисперсные системы, то их технологические свойства определяются не только общим влагосодержанием, но и формами связи и состоянием воды удерживаемой материалом.

Исходя из понятия гигроскопической влажности материала, принято различать зоны гигроскопической и свободной влаги в материале. Границей этих зон является гигроскопическое влагосодержание материала. Гигроскопическое влагосодержание зависит только от свойств самого материала и определяется его способностью связывать воду, чем больше эта способность, тем выше, соответственно значение гигроскопического влагосодержания. Процесс поглощения воды коллоидным капиллярно-пористым телом, которым является большинство пищевых материалов, представляет собой сложный процесс, состоящий из адсорбции, капиллярной конденсации и осмотического поглощения сложно построенными мицеллами [3]. Коллоидные капиллярно-пористые тела имеют сложное строение, так как они одновременно являются и гидрофильными гелями, и капиллярно-пористыми телами и часто представляют компоненты коллоидов различной степени гидрофильности, поэтому характер связывания воды может быть достаточно сложным. К тому же форма изотермы капиллярной конденсации непосредственно связана с характером пористости материала. В реальных телах форма пор может быть самая разнообразная.

Исходя из этого, одним из наиболее достоверных методов изучения состояния воды в различных материалах является анализ формы кривых их сорбции и десорбции. Характер кривых на различных участках в зависимости от равновесного влагосодержания исследуемого материала свидетельствует о наличии или преобладании той или иной формы связи воды в материале. Однако, данный метод требует достаточно продолжительного времени измерений, к тому же имеет определенные трудности при измерениях влагосодержаний близких к гигроскопическому (возможные ферментативные реакции, образование грибковых и бактериальных форм). Таким образом, целесообразным является применение экспрессметодов,

к которым можно отнести и методы диэлькометрии. К тому же, например, корреляционный анализ результатов этих двух методов (как часть комплекса различных методов) может дать более объективную картину состояния воды в исследуемом объекте.

Как известно, методы диэлькометрии основаны на явлении поляризации диэлектриков и, в частности, воды как полярного диэлектрика. В отсутствии электрического поля диполь воды находится в состоянии теплового равновесия и совершает колебания относительно своего положения равновесия. Под действием электрического поля происходит ориентация диполей воды, так как ориентационная поляризация для молекул воды (с поглощением подводимой энергии) является определяющей.

У капиллярно-пористых материалов электрические параметры, в частности, диэлектрическая проницаемость ε и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ сильно зависят от влагосодержания w и состояния воды в различных формах связи с сухим скелетом. Аналитическое определение зависимостей $\varepsilon(w)$ и $\operatorname{tg}\delta(w)$ представляет собой сложную задачу, поскольку большинство материалов представляют собой неоднородные диэлектрики и гетерогенные системы. Приближенно диэлектрическую проницаемость твердого тела можно определить по формуле [4]:

$$\varepsilon = \varepsilon_c \left(1 + \varepsilon_g - \frac{\varepsilon_c}{a\varepsilon_g} + \frac{b\varepsilon_c\rho}{\rho_g w} \right) \quad (1)$$

где ε_c , ε_g — относительная диэлектрическая проницаемость, соответственно, сухого материала и воды;

ρ — плотность исследуемого материала; ρ_w — плотность воды;

w — влагосодержание исследуемого материала;

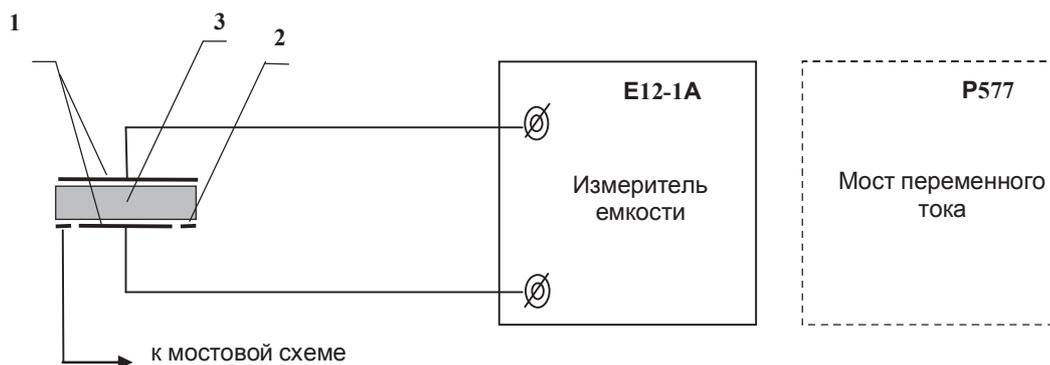
a и b — постоянные (для большинства материалов: $a = 0,01 \dots 0,03$; $b = 0,5 \dots 1,5$).

При отсутствии влаги в обезвоженном состоянии капиллярно-пористые материалы имеют низкую диэлектрическую проницаемость. Вода, связанная с материалом химической связью, а также кристаллизационная вода теряют свои диэлектрические свойства. Влияние воды на диэлектрические характеристики материалов зависит от форм ее связи с сухим скелетом материала. Если вода находится в микрокапиллярах или в виде молекулярных слоев (адсорбционная вода), она обладает слабой диэлектрической проницаемостью. Это можно объяснить силами, которые развиваются в ограниченных поверхностях между твердой частью материала и водой и тормозят вращение дипольных молекул воды, таким образом, препятствуя поляризации материала как диэлектрика. Характер изменения диэлектрической проницаемости материала в функции от его влагосодержания будет зависеть от размеров капилляров и от толщины молекулярных слоев. Поэтому с ростом влагосодержания величина ε увеличивается незначительно, пока вода адсорбируется в микрокапиллярах и мелких порах, далее при больших значениях влагосодержания, когда вода заполняет макрокапилляры и большие поры диэлектрическая проницаемость резко возрастает. К тому же, при повышении влагосодержания не только изменяется характер поляризации диполей воды, но и появляется ионная проводимость, что ведет к росту диэлектрических потерь. Поэтому для достоверности информации необходимо измерение зависимости ε от его влагосодержания дает возможность для определения состояния воды в зависимости от форм связи с материалом. В сочетании с данными других методов (например, метода ЯМР, который дает данные о подвижности молекул) это дает возможность разработки энергоэффективных процессов переработки определенного вида пищевого сырья.

Для изучения диэлектрических характеристик пищевого сырья был разработан и создан экспериментальный стенд, проведена серия экспериментов по определению диэлектрической проницаемости модельных объектов. Оригинальной частью стенда является измерительная ячейка. Корпус ячейки изготовлен из плексигласа. Один из измерительных электродов и охранный электрод вмонтированы в дно ячейки, второй электрод подвижный для регулировки необходимого зазора между электродами.

В схеме измерений (рис. 1) ячейка представляет собой плоский конденсатор, между пластинами которого размещается исследуемый образец.

При измерении диэлектрической проницаемости образцов резонансным методом (через измерение емкости образца) измерительная ячейка подключалась к стандартному измерителю емкости E12-1A. Для измерения ε в сочетании с измерением $\operatorname{tg}\delta$ мостовым методом использовался стандартный мост переменного тока P577. Для отработки методик измерения в качестве модельного материала были выбраны мелкодисперсные древесные опилки (1...3 мм). Такой материал позволяет получить однородный образец для измерений и управлять влагосодержанием в достаточно широком диапазоне.



1 – измерительные электроды, 2 – охранный электрод, 3 – исследуемый образец

Рис. 1 – Схема измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь

На рис. 2 показана зависимость диэлектрической проницаемости от влагосодержания для мелкодисперсных древесных опилок и скорости ее изменения в данном интервале влагосодержаний. Данная зависимость была получена по результатам измерений резонансным методом.

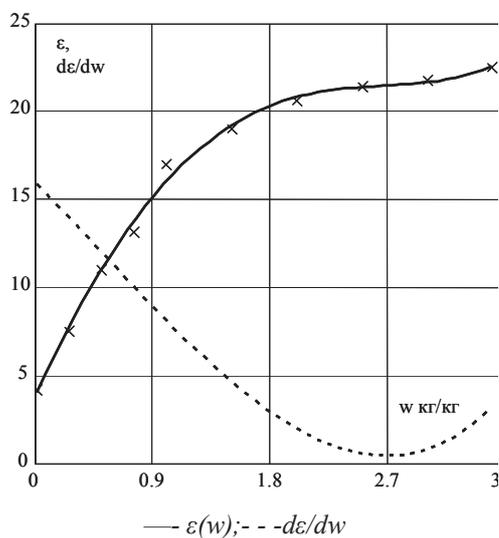


Рис. 2 – Зависимость диэлектрической проницаемости и скорости ее изменения от влагосодержания для древесных опилок

Анализ полученной зависимости показывает, что в данном модельном объекте преобладает влага макрокапилляров и крупных пор, так как скорость роста диэлектрической проницаемости достаточно высокая на начальном участке диапазона влагосодержаний, а участок заполнения микрокапилляров практически отсутствует. Далее при приближении к уровню гигроскопического влагосодержания диэлектрическая проницаемость приближается к «линии насыщения». При превышении уровня гигроскопического влагосодержания, то есть при появлении некоторого количества чистой или объемной воды наблюдается дальнейший рост значения ϵ . Полученные зависимости для данного объекта исследований полностью соответствуют приведенным выше теоретическим предпосылкам.

Выводы. Таким образом, на основании измерений диэлектрических характеристик исследуемых пищевых материалов в зависимости от их влагосодержания можно определять состояние «системной воды» в сочетании с данными других как термодинамических, так и молекулярно-кинетических методов, в частности методов ЯМР и ЭПР-спектроскопии.

Литература

1. Ребиндер П. А. О формах связи влаги с материалом в процессе сушки. – Труды Всесоюз. Научно-техн. совещания «По интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке в основных отраслях промышленности и сельском хозяйстве». – М.: Профиздат, 1958.
2. Матяш И. В. Вода в конденсированном состоянии. Киев.: «Наукова думка», 1971.
3. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.
4. Эме Ф. Диэлектрические измерения. М.: Изд-во «Химия», 1967.