

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ В РЫБНЫХ ПРОДУКТАХ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Канд. техн. наук. И. М. Маршак

Существует много методов определения количества влаги в различных продуктах. Эти методы и различные их модификации многократно описаны в нашей и иностранной литературе [2, 7, 9, 10], в частности и в литературе по технологии рыбных продуктов [5]. Имеется также немало работ по анализу существующих методов определения влаги [8] и сравнению различных методов с целью рекомендации применения того или иного из них в конкретных случаях.

Однако ни один из существующих методов не удовлетворяет требованиям современного производства, главным образом потому, что продолжительность анализов слишком велика, а также потому, что их применение связано с использованием различных реактивов и громоздкой аппаратуры.

Целью настоящей работы являлся выбор или разработка наиболее рационального метода определения влаги и конструирование прибора, позволяющего определять количество влаги в рыбных продуктах с минимальной затратой времени, без применения вспомогательных препаратов и с максимально простой методикой измерения. Эти условия являются наиболее важными требованиями производства.

Учитывая, что в процессе производства рыбных продуктов и полуфабрикатов в большинстве случаев достаточно знать содержание влаги в пределах целых единиц (а не долей) процента, мы приняли для конструируемого прибора точность определения, соответствующую отклонению максимум $\pm 0,5\%$ влаги от величины, получаемой общепринятым стандартным методом — высушиванием навески.

Мы остановили свой выбор на принципе измерения электрической проницаемости (ДК) потому, что благодаря высокому значению этой физической величины для воды по сравнению с другими материалами, в том числе и с тканями рыбы, можно было предположить резкую зависимость между величиной электрической проницаемости рыбы и количеством влаги в ней.

Определение электрической проницаемости материала сводится к измерению электрической емкости, которая при современном уровне техники может быть измерена с большой точностью, поэтому выбор такого принципа определения влаги в рыбе вполне оправдан и преимущества его перед другими несомненны.

Электрическая проницаемость или, как ее называют, диэлектрическая постоянная является одной из величин, характеризующих электрические свойства непроводников (диэлектриков). Эти свойства обнаруживаются главным образом при изучении поведения диэлектриков в электрическом поле.

Теоретические предпосылки и механизм происходящих в диэлектрике явлений можно так представить кратко, в общем виде.

Если внести любой диэлектрик в электрическое поле, например, конденсатора, то каждая частичка объема диэлектрика поляризуется; поло-

жительные заряды перемещаются к отрицательной обкладке конденсатора, а отрицательные — к положительной.

Различают два процесса в поляризации диэлектриков: внутримолекулярное перемещение зарядов и перемещение самих молекул.

Внутримолекулярная поляризация состоит из электронной и атомной поляризации.

Электронная поляризация обусловлена перемещением свободных электронов (которые всегда имеют все атомы и молекулы) к положительной обкладке под влиянием поляризирующего поля.

Атомная поляризация обуславливается смещением атомов и ионов или атомных групп в молекуле.

Внутримолекулярная поляризация (электронная и атомная) наблюдается во всех диэлектриках независимо от того, подвижна молекула или нет.

В жидких диэлектриках, у которых молекулы подвижны, наблюдается, кроме того, поляризация, вызванная ориентацией беспорядочно расположенных дипольных молекул, т. е. таких молекул, в которых заряды расположены неравномерно; в такой электрически несимметричной молекуле внутреннее молекулярное поле искажено, в связи с чем система обладает собственным электрическим моментом.

Процесс ориентации диполей подобен ориентации постоянных магнитов по направлению магнитных силовых линий. Движение дипольной молекулы под действием электрического момента (рис. 1), обнаруживается как смещение заряда.

Таким образом, полная поляризация диэлектрика складывается из электронной, атомной и дипольной или ориентационной поляризаций.

Поляризация, имеющая место во всей массе диэлектрика, достигает наибольшего значения у его граничных поверхностей, у обкладок конденсатора; здесь образуются поверхностные заряды. Присутствие этих зарядов обуславливает большую или меньшую величину измеряемой емкости конденсатора.

Заряды, подводимые к обкладкам извне, связываются противоположными зарядами, возникающими вследствие поляризации диэлектрика, тем больше, чем сильнее диэлектрик может быть поляризован, т. е. чем больше его электрическая проницаемость (ДК).

Теоретический анализ химической структурной формулы органических соединений позволяет вычислить электрическую проницаемость, исходя из атомной рефракции и числа входящих в молекулу атомов и связей [3].

В технике, однако, выражение для электрической проницаемости материала получают как отношение электрической емкости конденсатора, заполненного этим материалом, к электрической емкости того же конденсатора, заполненного воздухом, электрическая проницаемость которой близка к единице.

$$\epsilon = \frac{C_x}{C_0},$$

где: ϵ — электрическая проницаемость материала;

C_x — емкость конденсатора, заполненного материалом;

C_0 — емкость пустого конденсатора,

т. е. электрическая проницаемость материала показывает, во сколько раз емкость конденсатора с материалом больше емкости пустого конденсатора.

Таким образом, определение электрической проницаемости сводится к измерению и сравнению емкостей конденсатора.

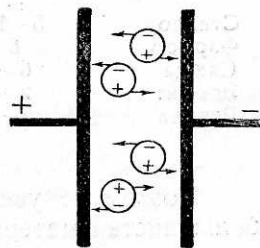


Рис. 1. Схема смещения зарядов дипольных молекул в поле конденсатора.

Электрическая проницаемость воды $\epsilon = 81$, а большинства сухих веществ не более 2—10 (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Электрическая проницаемость (ϵ) некоторых веществ

Вещество	ϵ	Вещество	ϵ	Вещество	ϵ
Стекло	5—10	Сера	3,6—4	Бензин	2,3
Фарфор	6	Воск	5—8	Вода	81
Слюда	6—9	Мрамор	8—9	Анилин	84
Эбонит	2—7	Янтарь	2—8	Воздух при 1 атм	1,0006
Резина	2—3	Керосин	2,0	" 100 атм	1,055
				Водород	1,0003

Поэтому с увеличением влажности электрическая проницаемость большинства материалов увеличивается; следовательно, и электроемкость этих материалов также увеличивается.

Например, при увеличении влажности рыбной муки с 10% до 30% емкость конденсатора, заполненного этой мукой, повышается от 1 пф (пикофарады) до 8 пф, т. е. в восемь раз.

Необходимо отметить, что абсолютные значения величины изменения емкостей¹ рыбной муки, рыбного фарша и тканей рыбы весьма мала, порядка десятых долей пф. Поэтому измерение электроемкости рыбы с целью исследования зависимости первой от содержания влаги требует применения очень чувствительных методов и измерительных схем.

ВЛИЯНИЕ СОЛЕННОСТИ

Измерение электроемкости рыбных продуктов по известным схемам, обычными методами невозможно из-за наличия в них соли (хлористого натрия) в растворенном состоянии. При включении в измерительную цепь конденсатора, заполненного соленой рыбой, последний оказывается замкнутым (шунтированным) проводником—электролитом, каковым является раствор соли в жидкой фазе рыбы. Это действительно для любого другого материала или продукта, содержащего электролиты. Вот почему метод определения влаги, основанный на принципе измерения электрической емкости, не получил широкого распространения.

При измерении емкости влажной рыбной муки, фарша и мяса рыбы нами для устранения этого явления применялись конденсаторы, имеющие обкладки, изолированные от исследуемого материала другим диэлектриком (лаком, стеклом, органическим стеклом и др.).

Предварительные испытания такого конденсатора-датчика показали, что наличие соли в воде повышает емкость датчика уже при самых малых концентрациях, но при дальнейшем увеличении концентрации раствора вплоть до насыщения емкость этого конденсатора остается постоянной (рис. 2).

Измерения производились по методу резонанса тока и напряжения на генераторе стандартных сигналов (ГСС) с логарифмическим конденсатором во вторичном контуре. В качестве индикатора напряжения в момент резонанса применялся ламповый вольтметр КВ-1.

Датчиком служил стеклянный сосудик прямоугольной формы размером 13×20×40 мм с тонкими стенками толщиной 0,5 мм (рис. 3). Две противоположные стенки этого сосудика были обклеены с наружной сто-

¹ Здесь, а также в дальнейшем под емкостью рыбной муки, тканей рыбы и т. п. следует понимать электрическую емкость конденсатора, заполненного рыбной мукой, мясом рыбы и т. п.

роны на небольшом расстоянии от дна тонким слоем станиоля, который служил проводником от конденсатора-датчика к измерительному контуру.

Таким образом исследуемый раствор, помещенный в сосудик, изолировался в отношении ионного тока стеклянными стенками сосудика. Схема соединения датчика C_x , логарифмического переменного конденсатора C_d , лампового вольтметра ЛВ и генератора ГСС показаны на рис. 4.

Измерение производилось следующим образом. После того как все элементы схемы присоединяли к установке, контур при пустом датчике настраивали в резонанс, что фиксировалось по максимальному отклонению стрелки лампового вольтметра (в момент резонанса напряжение на обкладках конденсатора C_x достигает максимума, см. рис. 4). Затем датчик наполняли солевым раствором (или другим исследуемым материалом), отчего контур расстраивался, так как к первоначальной емкости прибавлялась емкость датчика с раствором. Для вторичной настройки

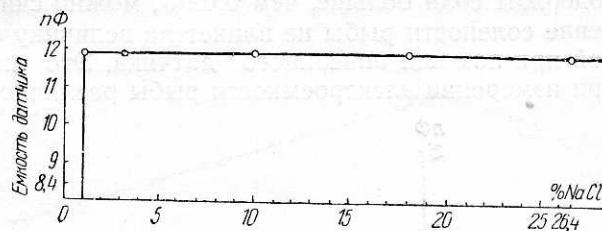


Рис. 2. Емкость конденсатора-датчика, заполненного солевым раствором.

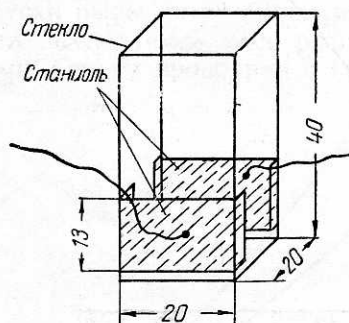


Рис. 3. Конденсатор-датчик для солевых растворов.

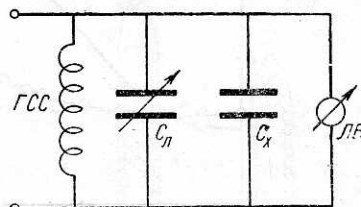


Рис. 4. Схема контура с логарифмическим конденсатором.

в резонанс ручку переменного конденсатора C_d поворачивали на угол, соответствующий величине избыточной емкости. Разность между двумя показаниями, отсчитываемыми по шкале переменного конденсатора, дает величину емкости датчика с раствором в пикофарадах.

Измерялась емкость раствора различной концентрации хлористого натрия в воде, начиная с концентрации в 0,001% и выше с интер-

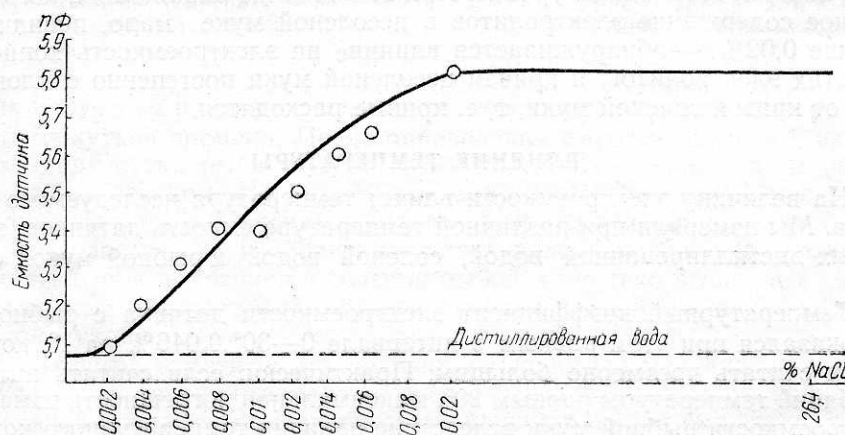


Рис. 5. Влияние концентрации раствора NaCl на емкость датчика.

валами в 0,002 %. На рис. 5 видно, что электроемкость раствора хлористого натрия постепенно повышается при увеличении концентрации раствора и достигает максимума при концентрации $\approx 0,02$ %, после чего электроемкость раствора остается постоянной вплоть до насыщения.

Так как обычно исследуемые пробы рыб или других продуктов всегда содержат соли больше, чем 0,02 %, можно считать, что практически изменение солёности рыбы не влияет на величину ее электроемкости, измеренной при помощи описанного датчика. Это подтвердилось впоследствии при измерении электроемкости рыбы различной солёности.

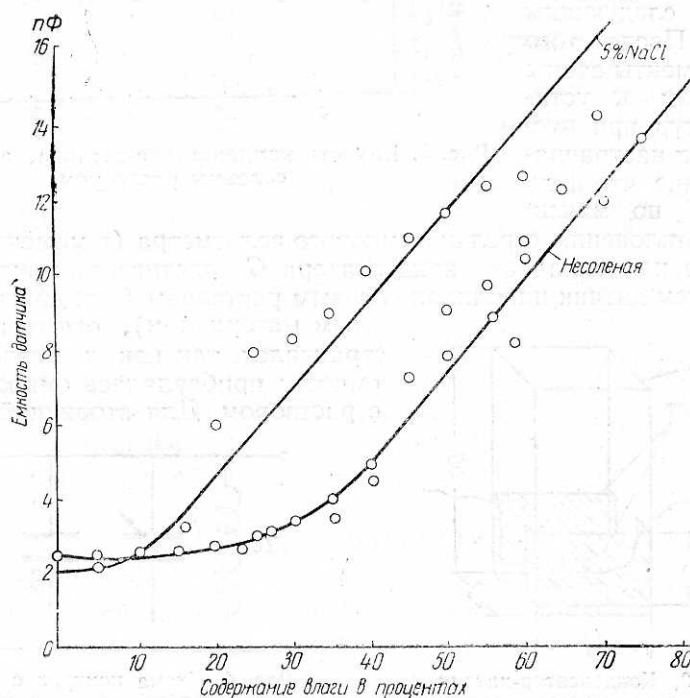


Рис. 6. Изменение емкости рыбной муки: соленой и несоленой.

На рис. 6 показаны изменения емкости конденсатора, заполненного рыбной мукой, соленой и несоленой, в зависимости от содержания влаги. Как видно из рис. 6, при малом содержании влаги в муке, т. е. когда количество влаги в несоленой муке таково, что растворенные в ней «природные» соли составляют более 0,02 %, электроемкость соленой и несоленой муки находится на одном уровне. При больших же влажностях, когда процентное содержание электролитов в несоленой муке мало, повидимому, меньше 0,02 %, — обнаруживается влияние на электроемкость концентрации этих электролитов, и кривая несоленой муки постепенно отклоняется вниз от кривой соленой муки, т. е. кривые расходятся.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

На величину электроемкости влияет температура исследуемого материала. Мы измеряли при различной температуре емкость датчиков, заполненных дистиллированной водой, соленой водой и рыбной мукой (рис. 7 и 8).

Температурный коэффициент электроемкости датчика с рыбной мукой оказался при этом равным в интервале $0-30^{\circ}$ 0,046 % на 1° , который нельзя считать чрезмерно большим. Практически, если считать интервал колебаний температуры равным 20° , максимальная погрешность измерения электроемкости рыбной муки вследствие наличия температурного коэффициента выражается в 0,25 % (в процентах влаги).

Для измерения емкости в мясе рыбы был сконструирован специальный датчик-конденсатор в виде трехзубой вилки (рис. 9). Зубья 1 вилки, являющиеся обкладками этого конденсатора, впрыснуты в тонкие изолирующие оболочки 2 из органического стекла. Концы металлических зубьев со стороны основания присоединяли к схеме при помощи проводов 3.

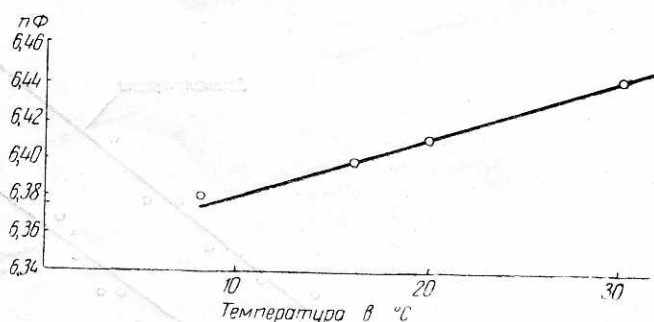


Рис. 7. Влияние температуры на емкость датчика с рыбной мукой (содержание влаги 25%).

Куски рыбы, вырезанные из филейной части, накалывали на вилку так, что исследуемое мясо рыбы целиком заполняло промежутки между зубьями. Опыты проводили с кусками свежей и соленой трески, которые

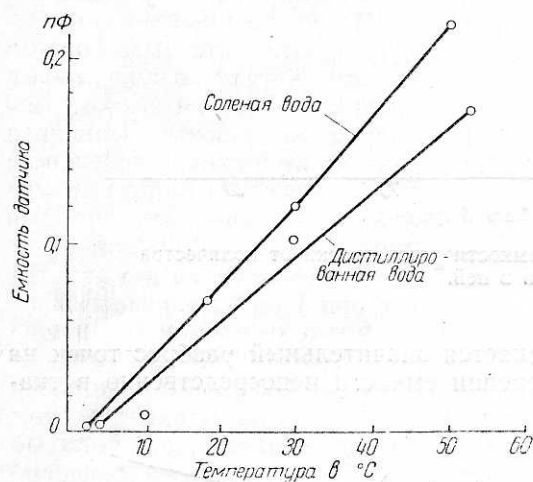


Рис. 8. Влияние температуры на емкость датчика с водой.

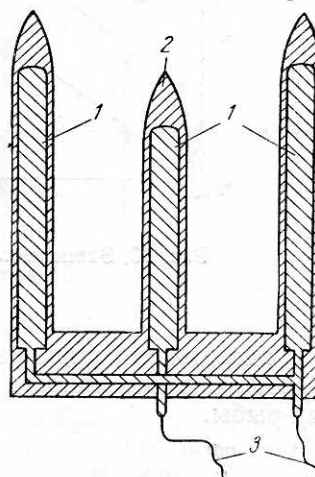


Рис. 9. Датчик для измерения емкости в мясе рыбы.

в целях получения различной влажности подсушивались в течение различных промежутков времени. После определения емкости датчика, введенного в толщу куска рыбы, в этом куске определяли содержание влаги стандартным методом. На рис. 10 показаны изменения емкости датчика, погруженного в рыбу (треску), в зависимости от количества влаги в рыбе.

Как видно из рис. 10, зависимость эта линейная, довольно резко выраженная. Емкость датчика с соленой рыбой несколько выше, чем со свежей, и кривые расходятся по мере увеличения влажности, как и в случае с рыбной мукой.

Необходимо отметить, что большой точности измерения, четкости и устойчивости показаний мешало несовершенство схемы и громоздкость измерительной аппаратуры. Прежде всего большая общая емкость всей схемы и большая емкость схемы по отношению к измеряемой емкости не по-

зволяли проводить измерение с желаемой степенью чувствительности. На четкость показаний при измерении оказывало влияние частое расстройство контура вследствие нестабильности частоты генератора, а также недостаточная частота. Кроме того, на точность и воспроизводимость результатов измерений существенное влияние оказывали способ заполнения конденсатора исследуемым материалом, особенно степень уплотнения материала и т. п.

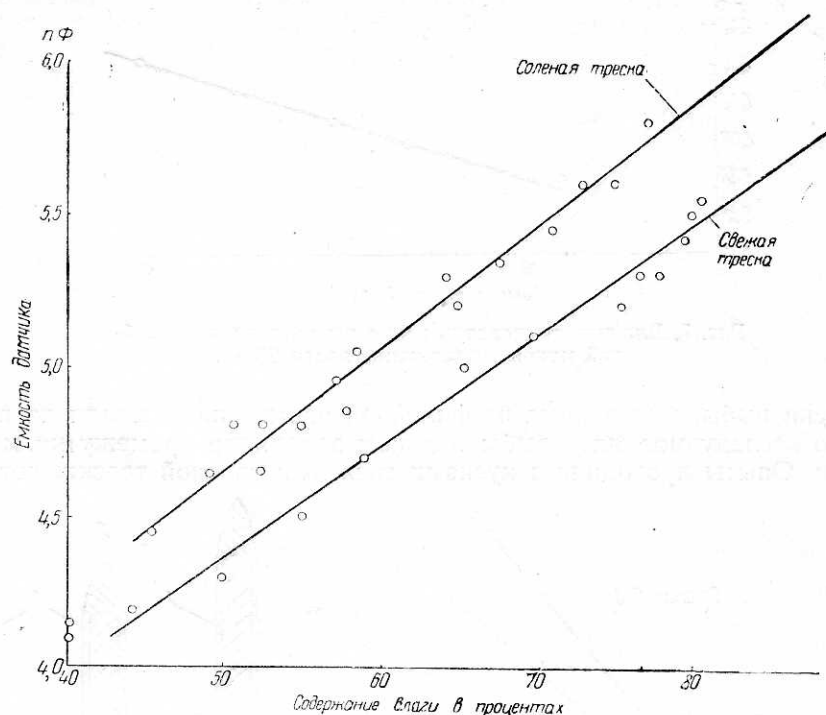


Рис. 10. Зависимость электроемкости мяса трески от количества влаги в ней.

Указанными причинами объясняется значительный разброс точек на графиках, в особенности при измерении емкости непосредственно в тканях рыбы.

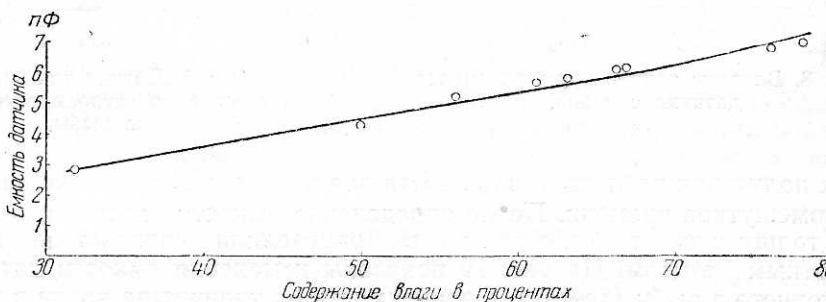


Рис. 11. Зависимость электроемкости фарша трески от количества влаги в ней.

В дальнейшем аппаратура была усовершенствована. Схема была собрана на ламповом генераторе с кварцевым стабилизатором на высокой частоте (в 15 мГц). Определение емкости по этой схеме проводилось методом срыва колебаний. Используя электронно-лучевой индикатор настройки для фиксации момента срыва колебаний и уменьшив до минимума емкость

монтажа и всей схемы, удалось при измерении малых изменений емкости в фарше и целых кусках рыбы получить весьма четкие и устойчивые показания (рис. 11 и 12).

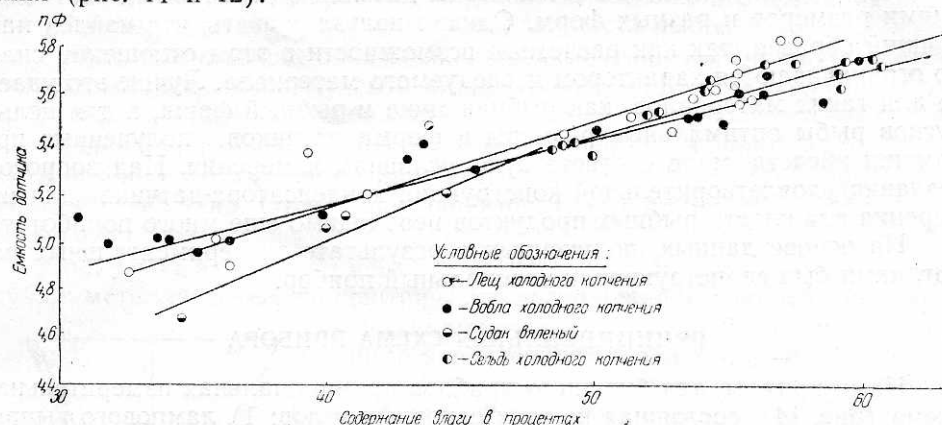


Рис. 12. Зависимость электроемкости рыбных продуктов от количества влаги в них.

Другим весьма важным моментом для увеличения чувствительности прибора является соотношение размеров датчика: толщины изолирующей части и величины пространства для исследуемой рыбы между обкладками.

Если сравнить кривые на рис. 6 с кривыми на рис. 10, то можно заметить, что первые имеют более крутой наклон, чем вторые, на первых перепад величины емкости на единицу изменения влажности больше, чем на вторых. На первых кривых при изменении влажности от 40 до 80% электроемкость датчика с исследуемым материалом повышается на 7 пФ, в то время, как на вторых в том же интервале — лишь на 1,5 пФ. Объясняется это тем, что в первом случае датчик (см. рис. 3) имел весьма тонкий слой изоляции (стенка стеклянного сосуда) по сравнению с толщиной измеряемого материала; во втором случае (см. рис. 9), при измерении в мясе рыбы, слой изоляционного диэлектрика (органического стекла) был намного больше.

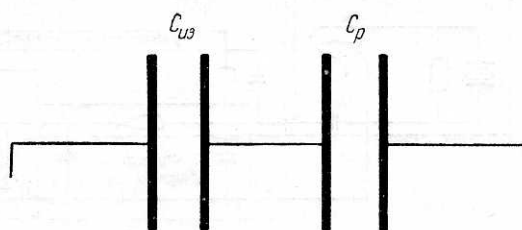


Рис. 13. Схема последовательно-соединенных конденсаторов.

Схематически можно представить примененные нами датчики, как два соединенных последовательно конденсатора (рис. 13). Как известно, общая емкость нескольких конденсаторов различной емкости, соединенных последовательно, всегда меньше наименьшей из этих емкостей:

$$C_{\text{общ}} = \frac{C_{\text{из}} \cdot C_{\text{р}}}{C_{\text{из}} + C_{\text{р}}},$$

где: $C_{\text{общ}}$ — общая емкость конденсаторов;

$C_{\text{из}}$ — емкость конденсатора с изоляционным материалом;

$C_{\text{р}}$ — емкость конденсатора с рыбой.

Ясно, что чем больше $C_{\text{из}}$ по отношению к $C_{\text{р}}$ при прочих равных условиях, тем и общая емкость датчика больше и перепад общей емкости при изменении $C_{\text{р}}$ больше. Следовательно, чтобы сделать прибор более чувствительным к малым изменениям влажности, необходимо стремиться к возможно максимальной емкости изоляционного слоя, т. е. к возможно

меньшей его толщине, так как емкость конденсатора обратно пропорциональна расстоянию между его обкладками.

Нами были рассчитаны и испытаны датчики с различными соотношениями размеров и разных форм. Однако нельзя сказать, что найден наилучший образец, так как расчетные возможности в этом отношении сильно ограничиваются характером исследуемого материала. Лучше это удается для таких материалов, как рыбная мука и рыбный фарш, а для целых кусков рыбы оптимальные размеры и форма датчиков, полученные при помощи расчета, мало соответствуют условиям измерения. Над вопросом создания удовлетворительной конструкции конденсатора-датчика для измерения влажности рыбных продуктов необходимо еще много поработать.

На основе данных, полученных в результате экспериментальных работ, нами был сконструирован специальный прибор.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Нами принята для будущего прибора принципиальная измерительная схема (рис. 14), состоящая из трех основных узлов: 1) лампового выпрямителя с фильтром, 2) лампового генератора с кварцевым стабилизатором частоты и 3) измерительного контура с датчиком.

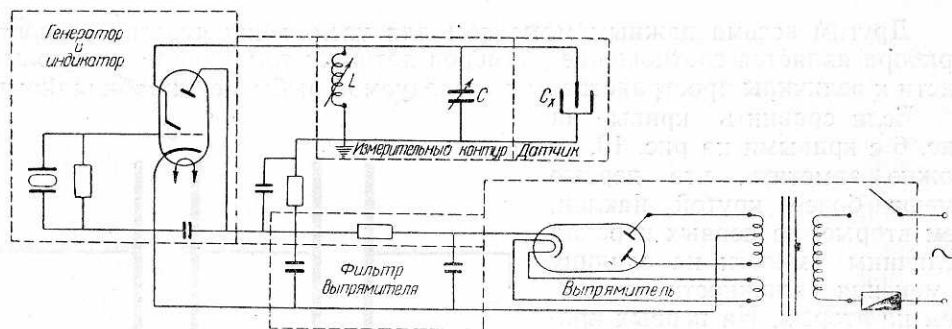


Рис. 14. Принципиальная схема прибора для определения влаги в рыбных продуктах.

Схема работает по методу срыва колебаний.

Измерительный контур, состоящий из самоиндукции (L), настроенного конденсатора (C) и измерительного конденсатора-датчика (C_x), включен в аподную цепь лампы генератора.

Измерительный контур настраивается при помощи настроенного конденсатора на частоту кварца;

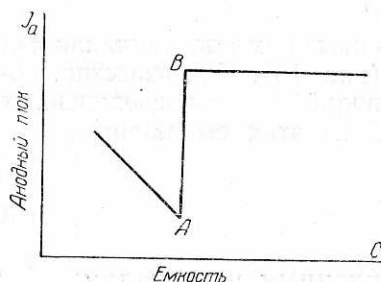


Рис. 15. График изменения силы анодного тока при настройке контура.

при равенстве частот кварца и измерительного контура анодный ток имеет минимальную величину. После заполнения датчика испытуемым материалом емкость измерительного контура $C_k = C + C_x$ увеличивается и контур расстраивается вследствие уменьшения собственной частоты его колебаний. В момент расстройки контура в сторону меньших частот происходит срыв колебаний, что вызывает резкое увеличение анодного тока (рис. 15). На рис. 15 точка A соответствует моменту равенства частот генератора и измерительного контура, когда анодный ток наименьший; точка B —

моменту срыва колебаний и резкого увеличения анодного тока.

Таким образом, точка B фиксирует момент конца настройки контура.

Для измерения влажности рыбы (фарша или целых кусков) контур

настраивают дважды, один раз при пустом датчике, второй раз с датчиком, заполненным рыбой. Угол поворота ручки настроечного конденсатора между двумя ее положениями — при пустом и заполненном датчике — пропорционален емкости датчика, т. е. влажности рыбы.

В качестве прибора, показывающего изменение тока в анодной цепи, применяется электронно-лучевой индикатор типа 6Е5, триодная часть которого используется как генератор.

Величина теневого сектора на экране индикатора меняется в зависимости от анодного тока; при минимальном анодном токе наблюдается полное отсутствие тени. Отсчет производится в момент резкого расширения теневого сектора.

Конденсатор-датчик (рис. 16). Обкладками конденсатора служат металлические, концентрически расположенные полый цилиндр 1 и цилиндрический стержень 2. Наружный цилиндр крепится к колодке 3 зажимными винтами 4; внутренний стержень проходит через отверстие в центре дна стакана 5, сделанного из органического стекла, и крепится к

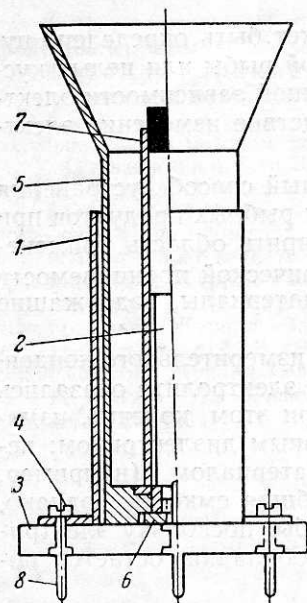


Рис. 16. Конденсатор-датчик для фарша рыбы.

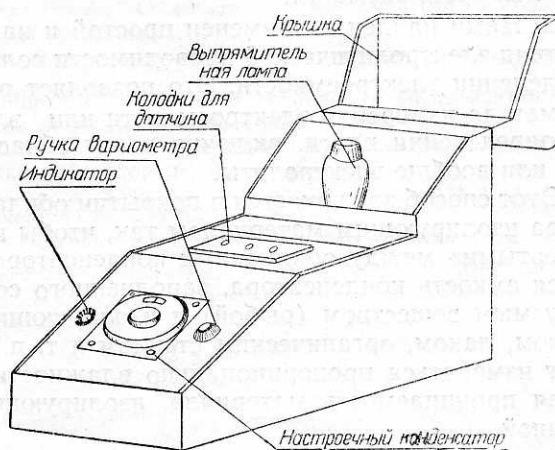


Рис. 17. Внешний вид прибора.

нему гайками 6. Внутренний стержень вставлен в гильзу из органического стекла 7, которая притягивается к дну стакана теми же гайками. Стакан 5 вместе с гильзой и внутренним стержнем вставляют в металлический цилиндр, а весь датчик вставляют штырями 8 в гнезда контактной колодки, расположенной на скобе шасси прибора. Верхняя часть стакана имеет конусообразное расширение для более удобной загрузки датчика. Исследуемый материал (муку или фарш) помещают в кольцевом зазоре, между наружным металлическим цилиндром и внутренним металлическим стержнем, изолированными от материала стаканом и гильзой, сделанными из органического стекла.

Для измерения влажности в мясе рыбы предусмотрен датчик в виде вилки, подобно описанной выше (см. рис. 9), но с более выгодными соотношениями размеров. Кроме того, вилка имеет штыри для присоединения ее к прибору, как и в датчике для фарша.

Конструкция прибора (рис. 17). Схема прибора смонтирована на шасси, заключенном внутри корпуса прибора, и частично на передней наклонной панели прибора. Шасси вместе с прикрепленной к нему наклонной панелью и колодкой для датчика вдвигается с передней стороны в корпус. Верхняя задняя часть корпуса имеет откидывающуюся

крышку, а его задняя стенка — открывающуюся дверку для смены ламп, переключения зажимов и других манипуляций при эксплуатации прибора.

На передней наклонной панели расположены:

- 1) ручка настроечного конденсатора (в центре) со шкалой на лимбе (шкала имеет деления в % влаги);
- 2) ручка вариометра (переменной индуктивности) для первоначальной настройки контура;
- 3) окно электронно-лучевого индикатора.

Корпус прибора облицован деревом и покрыт лаком.

Такая конструкция и внешняя форма делает прибор портативным удобным в эксплуатации, несложным и недорогим для изготовления.

ВЫВОДЫ

1. Количество влаги в рыбных продуктах может быть определено путем измерения электрической емкости измельченной рыбы или целых кусков рыбы; эта возможность вытекает из определенной зависимости электроемкости рыбы от количества влаги в ней; вследствие изменения электрической проницаемости.

2. Нами найден и применен простой и надежный способ устранения действия электролитической проводимости соленых рыбных продуктов при определении электроемкости. Это позволяет расширить область применения метода измерения электроемкости или электрической проницаемости при определении влаги, включив в эту область материалы, содержащие соли или вообще электролиты.

Этот способ заключается в покрытии обкладок измерительного конденсатора изолирующим материалом так, чтобы ионы электролита оказались «запертыми» между обкладками конденсатора. При этом, конечно, измеряется емкость конденсатора, заполненного составным диэлектриком: исследуемым веществом (рыбой) и изолирующим материалом (например, стеклом, лаком, органическим стеклом и т. п.). Общая емкость, однако, будет изменяться пропорционально влажности рыбы, поскольку электрическая проницаемость материала, изолирующего обкладки, остается постоянной.

3. Результаты исследований показали прямую и линейную зависимость электрической проницаемости соленой рыбы (как измельченной, так и целых кусков) от количества содержащейся в ней влаги, что подтверждает возможность измерения емкости соленых рыбных продуктов при помощи конденсатора с изолированными обкладками.

4. В результате исследования влияния температуры на электроемкость солевых растворов, рыбной муки и фарша было установлено, что температурный коэффициент электроемкости рыбной муки и фарша невелик (0,047). Максимальная погрешность из-за колебания температуры рыбной муки (или рыбы) в пределах 0—30° приблизительно равна $\pm 0,25\%$ влаги. В производственных условиях при колебаниях температуры в несколько градусов погрешностью от температурного коэффициента можно пренебречь.

5. При разработке схемы и конструкции прибора необходимо учесть следующее:

а) частота тока генератора должна быть максимально возможной, не менее 15 мГц;

б) емкость монтажа и всей схемы должна быть возможно меньшей, а емкость датчика возможно большей;

в) датчик для измерения влажности в фарше должен быть таким, чтобы можно было свободно и легко загружать его и освобождать от исследуемой пробы. Желательна равномерная загрузка датчика, с одинаковой плотностью;

г) необходимо стремиться к увеличению измеряемой емкости путем выбора наивыгоднейшего соотношения размеров пространства для исследуемого материала и изоляционного слоя. Лучшим является соотношение при максимальном уменьшении расстояния между обкладками конденсатора (датчика) и увеличении их поверхности, и максимальном уменьшении толщины изоляционного слоя обкладок.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов К. А. и Яманов С. А., Органические диэлектрики и их применение в промышленности средств связи, Госэнергоиздат, 1949.
2. Зайченко П. и Ржехин В., Рефрактометрический метод определения влаги в семенах, мезге и жмыхах, Журнал «Маслободно-жировое дело», № 9—10, 1934.
3. Кобеко П. П., Физико-химические свойства диэлектриков, Госхимтехиздат, 1934.
4. Под редакцией Н. Ф. Невтокова, Методы оценки рыбных консервов и других продуктов из рыбы, Пищепромиздат, 1937.
5. Монастырский А. Г., Лабораторный практикум по испытанию волокнистых текстильных материалов, Гизлегпром, 1949.
6. Нетушил А. В. и Корзун И. В., Измерение электрических характеристик полупроводников методом замещения, журнал «Электричество», № 2, 1949.
7. Ольшанов К. и Зиновьев А., О методах определения содержания воды в мясе, Журнал «Мясная индустрия» № 2, 1951.
8. Применение токов ультравысокой и высокой частоты при обработке пищевых продуктов, Пищепромиздат, 1940.
9. Рахманов Л. А., Прибор для определения влажности по диэлектрической проницаемости, Журнал «Заводская лаборатория», № 5, 1951.
10. Стогин Н. И. и Дорош Ф. П., Вакуум-карбидный ускоренный метод определения влаги, Журнал «Заводская лаборатория», № 5, 1951.
11. Шистер А. Б., Электрические свойства некоторых материалов в полях высокой частоты, Журнал «Электричество» № 5, 1950.
12. Эберт З., Физические методы в химической лаборатории *Angewandte Chemie*, № 20, 1934.

