

РАЗМОРАЖИВАНИЕ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ ПОТОКАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Е. Ф. ТУРЦЕВИЧ, Н. И. БОХАН

Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Описана технология размораживания пищевых продуктов в электромагнитном поле высокой частоты.
The technology of defreezing of foodstuff in an electromagnetic floor of high frequency is described.

Введение

Холодильная обработка является самым распространенным и эффективным методом консервирования пищевых продуктов, позволяющим наиболее полно сохранить исходные свойства сырья, свести в нем к минимуму биохимические изменения, которые в основном обусловлены особенностями кристаллообразования при замораживании. В процессе замораживания и холодильного хранения пищевые продукты подвергаются необратимым изменениям, вследствие которых при размораживании не происходит полного восстановления их нативных свойств [1]. Правильность выбранной технологии размораживания и технического обеспечения во многом определяет качество конечного продукта и дает возможность выполнить жесткие требования санитарно-гигиенических служб и потребителей.

Основная часть

Размораживание гидробионтов и продуктов животного происхождения – это заключительный этап в технологической цепи холодильной обработки. Для получения высококачественной продукции при размораживании необходимо стремиться к наиболее полному сохранению исходных свойств продуктов.

При размораживании в пищевых продуктах происходят физико-химические изменения, обусловленные фазовым переходом льда из твердого кристаллического состояния в жидкое, растворением в воде солей и органических веществ и поглощением мышечными тканями влаги. Однако выделяемая при размораживании значительная часть влаги теряется, что приводит к снижению биологической и пищевой ценности продукта [1].

При размораживании, как и при замораживании, основные изменения в мышечных тканях происходят в критической зоне температур от -5 до -1 °С [6]. В этом интервале температур наиболее интенсивно протекают денатурационные и гидролитические процессы в белковых веществах и липидах, ухудшаются физико-химические и микробиологические показатели. Для уменьшения влияния факторов, снижающих пищевую ценность и качество размороженного сырья и готовой продукции, процесс размораживания стремятся проводить интенсивно. Это возможно лишь при использовании высокочастотной (ВЧ) и сверхвысокочастотной (СВЧ) энергии. Размораживание ВЧ- и СВЧ-нагревом осуществляется одновременно по всему объему продукта и обеспечивает интенсивное, в

течение нескольких минут, повышение на десятки градусов температуры блоков мороженого мяса и рыбы [6].

Основная часть воды в мышечной ткани замороженной рыбы и мяса находится в виде льда. Кристаллическая структура льда резко ограничивает подвижность молекул связанной (не замороженной) воды в переменном электромагнитном поле (ЭМП) ВЧ. На первом этапе размораживания вода, поглощая энергию ВЧ-поля, интенсивно нагревается, при этом быстро и равномерно повышается температура по всему объему продукта. При размораживании мяса и рыбы с повышением температуры доля свободной воды увеличивается и в критической зоне температур от -5 до -1 °С возрастает скорость ее нагрева ВЧ-энергией [6]. Сохранить качество размораживаемого сырья и избежать возможного перегрева можно, лишь учитывая специфику воздействия ВЧ-нагрева на продукт.

С целью изучения закономерностей ВЧ-нагрева процесс размораживания проводили в ВЧ-установке (рис. 1) с частотой 24 МГц и регулируемой подводимой мощностью ВЧ-энергии 5...10 кВт.

Обработку гидробионтов и продуктов животного происхождения осуществляли в соответствии с действующей технологической инструкцией по размораживанию рыбы и мяса в воздушной и водной среде. Процесс размораживания в ЭМП ВЧ считался законченным по достижении температуры в центре блока -2 °С. Откалиброванные по массе и размерам блоки рыбы и мяса размораживали в ВЧ-установке непрерывным и дискретным режимами в течение 5...24 мин. В каждом эксперименте фиксировали распределение температуры по объему размороженных блоков послойно в 12-ти точках с целью определения равномерного размораживания по блоку при наименьшем перепаде температур. После фиксирования температуры отбирали пробы размороженной рыбы и мяса и производили оценку по водоудерживающей способности (ВУС), потере массы, органолептике и цветовым характеристикам.

В качестве объектов исследования использовали: салака, скумбрия атлантическая, палтус черный, окорочка куриные. Выбор в качестве объектов исследования данных видов продуктов обусловлен тем, что по своему химическому составу и сбалансированности аминокислот они являются полноценными продуктами питания. Более 90 % мороженой рыбы этих видов направляется на производство продуктов детского питания, кулинарных изделий, пресервов и консервов, копченой, соленой и вяленой продукции.

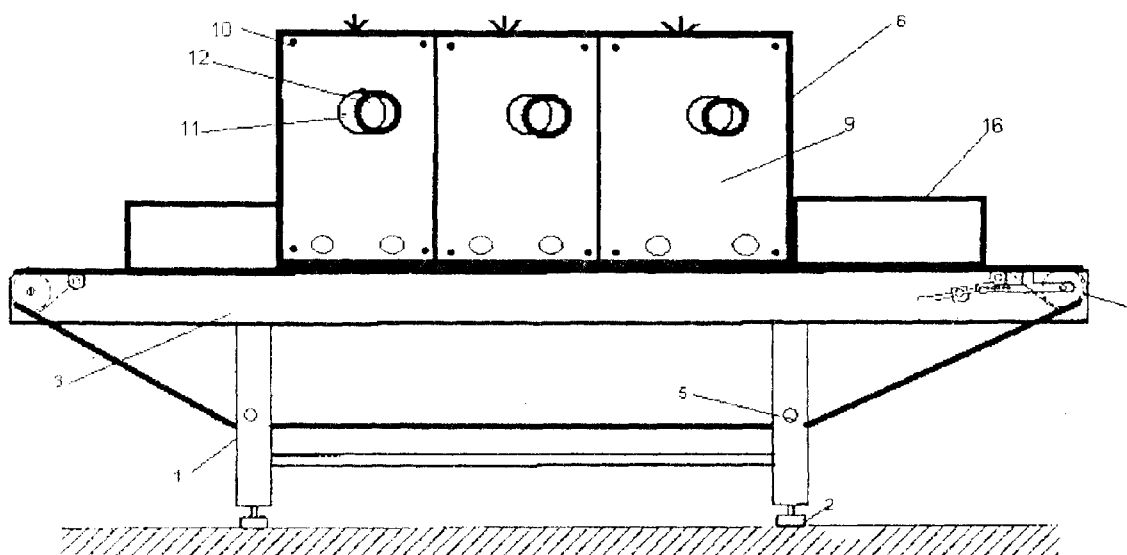


Рис. 1. Высокочастотная установка:

1 – стол; 2 – винтовые опоры; 3 – столешница; 4 – транспортер; 5 – натяжные вальцы; 6 – рабочая камера; 9 – съемные панели; 10 – крепежные винты; 11 – технологические окна; 12 – металлические подвижные шторки; 16 – волноводы

Основные компоненты пищевых продуктов: белки, углеводы, жиры и вода, с точки зрения взаимодействия их с электромагнитным полем, по существующей классификации относят к неидеальным диэлектрикам, а водные растворы солей (электролиты) – к проводникам [6].

При разработке технологических процессов и ВЧ-оборудования для обработки пищевых продуктов энергией ЭМП ВЧ необходимо знать диэлектрические характеристики сырья (ϵ – диэлектрическая проницаемость и $tg\delta$ – фактор потерь). Диэлектрические характеристики влияют на величину удельной мощности ЭМП ВЧ, трансформируемой в теплоту, и глубину проникновения ВЧ-поля в продукт. В свою очередь, они зависят от уровня частоты ЭМП, температуры, структуры и химического состава продукта [6].

При температуре -17°C мясные соки в значительной мере заморожены, а характер изменения ϵ и $tg\delta$ такой же, как и для льда. Лед обладает структурной поляризацией (смещением целых групп ионов под действием поля). Структурная поляризация сопровождается большими потерями. При дальнейшем повышении температуры до -9°C появляются участки оттаявших мясных соков. С уменьшением замороженной фазы уменьшаются и потери на структурную поляризацию, $tg\delta$ по величине падает, диэлектрическая проницаемость растет, т. к. появляются участки мясных соков со значительной ионной поляризацией. При температуре -2°C и при положительных температурах характер проводимости обуславливается колебанием ионных атмосфер, что связано с малыми потерями ($tg\delta$ падает). Диэлектрическая проницаемость мясных мышц при размораживании от -17 до 0°C изменяется от 10...15 до 50...80; $tg\delta$ при этом меняется от 0,4...0,5 до 0,1. Жир имеет ϵ

порядка 3, $tg\delta$ имеет максимум при 20...25 МГц и равен 0,015...0,02. Кость имеет ϵ около 15, $tg\delta$ – 0,07...0,1 с максимумом в области 20 МГц [6]. Вначале, благодаря малой величине ϵ (10...15), в мясе возникает значительная напряженность электрического поля. Благодаря этому и высокому $tg\delta$ происходит интенсивный нагрев образца. При повышении температуры ϵ увеличивается, а $tg\delta$ падает. Это приводит к перераспределению напряженности электрического поля, априори равномерному нагреву по всему объему продукта. Таким образом, используя основы физических принципов взаимодействия электромагнитного поля ВЧ с пищевыми продуктами, взаимосвязи закономерностей изменения диэлектрических свойств при различных температурах в процессе их обработки, можно констатировать целесообразность применения ВЧ-нагрева для производства пищевых продуктов, позволяющего значительно интенсифицировать технологические процессы, прежде всего, при размораживании сырья.

В процессе размораживания восстановление структуры и сохранение нативных свойств мышечной ткани зависят от ряда факторов, обуславливающих высокий уровень качества готовой продукции: состояние сырья перед размораживанием, способ и скорость размораживания, температура по объему продукта после обработки [1].

Из научной литературы известно, что при одинаковой разности температур продолжительность процесса размораживания по сравнению с замораживанием увеличивается примерно на 80%. Это объясняется различием теплофизических свойств льда и воды, а также снижением теплового потока в процессе размораживания продукта.

При исследовании кинетики размораживания блоков салаки, скумбрии и палтуса в воздушной

среде, в воде и ВЧ-нагревом получена термограмма процессов (рис. 2), свидетельствующая о существенном влиянии способов размораживания на продолжительность обработки и изменения температуры по объему, в центре и верхних слоях блоков рыбы вследствие принципиальных отличий конвективных способов и диэлектрического размораживания.

В сопоставлении с размораживанием в воде, где продолжительность процесса составляет, соответственно, 120...135 мин, на воздухе – 480...510 мин, размораживание рыбы в ВЧ-поле позволяет сократить процесс до 9,2...10,8 мин (в 12–13 и 47–

52 раза соответственно) и минимизировать разность температур по объему блоков до +1,5...3 °С в сравнении с обработкой в воде (+17 °С) и на воздухе (+3 °С).

Важнейшими технологическими характеристиками способов размораживания гидробионтов и продуктов животного происхождения являются потери массы сырья и водоудерживающая способность (ВУС) мышечной ткани. Многочисленными исследованиями установлено, что чем выше скорость процесса размораживания, тем меньше потери мышечной влаги и выше уровень значений ВУС мышечной ткани [4].

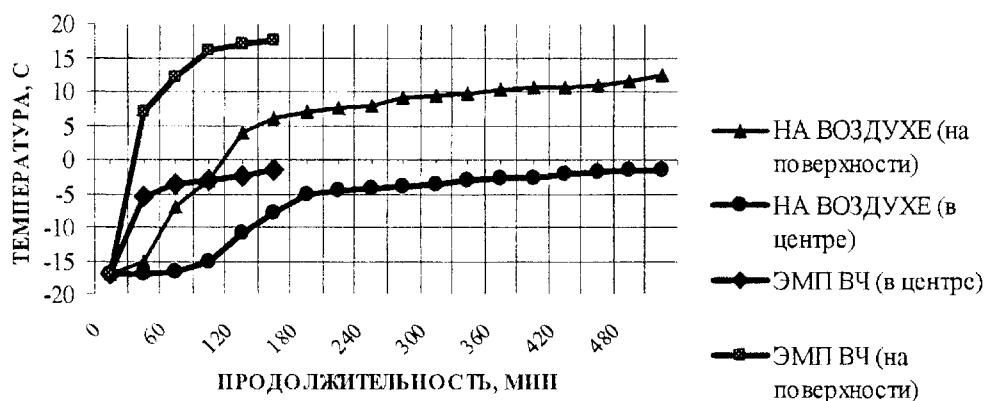


Рис. 2. Термограмма процессов размораживания блоков салаки

Таблица 1. Потери массы и ВУС мышечной ткани рыбы при размораживании различными способами

ВИД ПРОДУКТА	ПОКАЗАТЕЛИ	СПОСОБ РАЗМОРАЖИВАНИЯ		
		НА ВОЗДУХЕ	В ВОДЕ	ЭМП ВЧ
САЛАКА	ВУС, %	53,87±1,03	54,09±1,24	64,88±1,18
	Потери массы, %	2,62±0,39	1,91±0,32	0,12±0,02
СКУМБРИЯ	ВУС, %	52,09±0,68	51,37±0,82	58,61±1,47
	Потери массы, %	2,83±0,34	2,06±0,27	0,14±0,02
ПАЛТУС	ВУС, %	52,21±1,09	53,04±1,35	62,73±0,98
	Потери массы, %	3,18±0,42	2,27±0,29	0,15±0,02

Связь этих показателей, в зависимости от способа и скорости размораживания, приведена в табл. 1.

Приведенные данные показывают, что при размораживании рыбы ВЧ-энергией в отличие от градиентных способов потери сырья минимальны – 0,15 % и сокращаются в 7 - 21 раз, ВУС мышечной ткани рыбы выше на 7...11 %. Это связано, прежде всего, с принципиальными отличиями способов размораживания и термодинамическими условиями процесса обработки.

Установлена закономерность: чем выше скорость процесса размораживания, тем в большей степени сохраняется высокий уровень содержания азота растворимых саркоплазматических и миофибриллярных белков мышечной ткани рыбы и других качественных показателей сырья. И наоборот, при длительном размораживании в воде и на воздухе белки мяса подвергаются денатурации, приводящей к значительному снижению их раство-

римости, ухудшению качества размороженного сырья и изготавливаемой из него пищевой продукции. При конвективном размораживании, характеризующемся длительностью обработки от –5 до –1 °С, белки претерпевают гидролитические и денатурационные превращения, в результате которых может появляться специфический запах и вкус вследствие накопления небелкового азота (НБА) [7]. Содержание НБА в мясе размороженной в воде и на воздухе рыбы по сравнению с мороженым сырьем возросло, соответственно, на 12,2...19,6 % и 16,1...18,4 %. Размораживание гидробионтов диэлектрическим способом позволяет сократить образование НБА по сравнению с размороженной рыбой градиентными методами в 4 - 7 раз, которое составляет 2,2...3,8 % от уровня исходных значений в мороженом сырье.

Кроме того, при конвективных способах размораживания вместе с накоплением в мышечной ткани НБА одновременно происходит развитие и значи-

тельный рост микроорганизмов, а это приводит к ухудшению качества размороженного сырья. Результаты исследований дают основание считать, что в зависимости от способа размораживания существует определенная связь между содержанием НБА, азотом летучих оснований, общей бактериальной обсемененностью и органолептикой. При более продолжительном размораживании на воздухе и водной среде с увеличением НБА и азотом летучих оснований возрастает уровень бактериальной обсемененности мяса, при этом органолептическая оценка качества размороженного сырья снижается.

Размораживание гидробионтов и продуктов животного происхождения в электромагнитном поле ВЧ в максимальной степени обеспечивает сохранение белковых компонентов, в том числе и жизненно необходимых незаменимых аминокислот, и качество размороженного сырья, направляемого на изготовление широкого ассортимента пищевой продукции.

Одной из основных причин ухудшения качества и порчи продуктов является окисление липидов, в частности, окисление образующихся при гидролизе липидов свободных жирных кислот (СЖК). При конвективных способах размораживания образование и накопление СЖК в мясе происходит в наибольшей степени, чем при размораживании в электромагнитном поле ВЧ [3]. Так, при размораживании в воздушной среде количественное содержание СЖК увеличивается на 27...34 % по сравнению с уровнем значений мороженой рыбы. При размораживании электромагнитным полем ВЧ липиды мышечной ткани не претерпевают каких-либо влияющих на качество сырья изменений, что обеспечивает их стабильность при обработке размороженного сырья и полуфабриката.

В последнее время установлено, что для улучшения санитарного состояния обработанного сырья необходим быстрый темп размораживания. Результаты исследований показывают, что при размораживании в ЭМП ВЧ уровень общей бактериальной обсемененности мяса и рыбы не превышает, соответственно, $7,5 \times 10^3$ и $7,8 \times 10^3$ КОЕ/г. При размораживании в воде и воздушной среде активность микробиальной культуры повышается на

один-два порядка [5]. В период объемного размораживания ВЧ-энергией (7...12 мин) количество микроорганизмов в мясе не увеличивается. Низкий уровень бактериальной обсемененности размороженного сырья можно объяснить частичным влиянием ВЧ-нагрева на вегетативные клетки и споры, находящиеся в микроорганизмах в связанном состоянии.

Данные исследований свидетельствуют об определенной зависимости изменения яркости цвета мяса от длительности процесса и способа размораживания. Так, уровень яркости цвета мышечных волокон палтуса, салаки и скумбрии, размороженных ВЧ-нагревом, выше по сравнению с размороженными в воде образцами на 15,8...19,2 %, в воздушной среде – на 22,6...26,3 % [2]. Таким образом, сохранение яркости цвета и окраски мяса при размораживании происходит за счет высокой скорости процесса обработки в ЭМП ВЧ, обеспечивающей стабилизацию органолептических показателей размороженного сырья и готовой продукции.

Заключение

Результаты исследований дают основание сделать заключение, что использование электромагнитной энергии ВЧ для размораживания гидробионтов и продуктов животного происхождения позволяет значительно сократить продолжительность процесса обработки по сравнению с размораживанием в воде и на воздухе, соответственно, в 22–27 раз и более чем в 150 раз; снизить потери сырья в 7–30 раз и получить размороженный полуфабрикат с высокими технологическими органолептическими показателями, позволяющими существенно повысить качество и безопасность пищевой продукции. Размораживание с использованием ЭМП ВЧ позволяет предотвратить развитие микрофлоры и снизить уровень обсемененности сырья на один-два порядка, исключить вторичное микробиальное обсеменение по сравнению с конвективными методами размораживания. Это способствует улучшению качества размороженного полуфабриката и санитарно-микро-биологической безопасности выработываемой из него пищевой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большаков С.А. Холодильная техника и технология продуктов питания / С.А. Большаков. – М.: Академия, 2003. – 304 с.
2. Воробьев В.В. Изменение цвета мяса рыбы при размораживании / В.В. Воробьев // Рыбное хозяйство. – 1997. – № 1. – С. 46–47.
3. Воробьев В.В. Изменение липидов рыбы при ВЧ-размораживании / В.В. Воробьев, В.К. Шевцов // Обработка рыбы и морепродуктов: Новости отечественной и зарубежной рыбопереработки. – ВНИЭРХ, 1997. – Вып. 3. – С. 17–19.
4. Гинзбург А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
5. Остапенков А.М. К вопросу о воздействии электромагнитных полей на микроорганизмы / А.М. Остапенков // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 2. – С. 62–66.
6. Рогов И.А. Электрофизические методы в холодильной технике и технологии / И.А. Рогов, Б.С. Бабакин, В.А. Выгодин; под ред. И.А. Рогова. – М.: Колос, 1996. – 336 с.
7. Сафронова Т.М. Органолептические свойства продуктов рыболовства и современные методы их оценки / Т.М. Сафронова. – М.: ВНИРО, 1998. – 240 с.