

УДК 664.951.039.51:664.951.3

РАДИАЦИОННОЕ НАГРЕВАНИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОКОПЧЕНИИ РЫБЫ

Н. А. Воскресенский, В. А. Алсуфьев, О. Е. Макаров, Т. Н. Радакова

Новым современным способом обработки рыбы является инфракрасное излучение. Изменение биохимических свойств пищевых продуктов при инфракрасном облучении еще недостаточно изучено, несмотря на публикацию ряда работ по этому вопросу. Применяемые методы расчета при инфракрасной обработке не удовлетворяют требованиям производства. Нет единого мнения об эффективности инфракрасной обработки пищевых продуктов по сравнению с другими способами. Одни исследователи (Воскресенский, Павлов, Калитин, 1960) считают, что продолжительность подсушки трески при непрерывном инфракрасном нагреве сокращается в 10 раз по сравнению с традиционными способами. Другие (Сахарова, 1969) утверждают, что подсушка и проварка салаки в конвективных тоннельных копильных печах длится 35 мин, а при инфракрасном нагреве в 1,5—2 раза меньше. Третьи (Хижняков, 1969) сообщают, что при конвективном нагреве температура внутри тела салаки достигает 70°C (температура воздуха 100°C, скорость 0,5 м/сек) через 20 мин, а при инфракрасном — за 2 мин.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ГОРЯЧЕГО ЭЛЕКТРОКОПЧЕНИЯ РЫБЫ

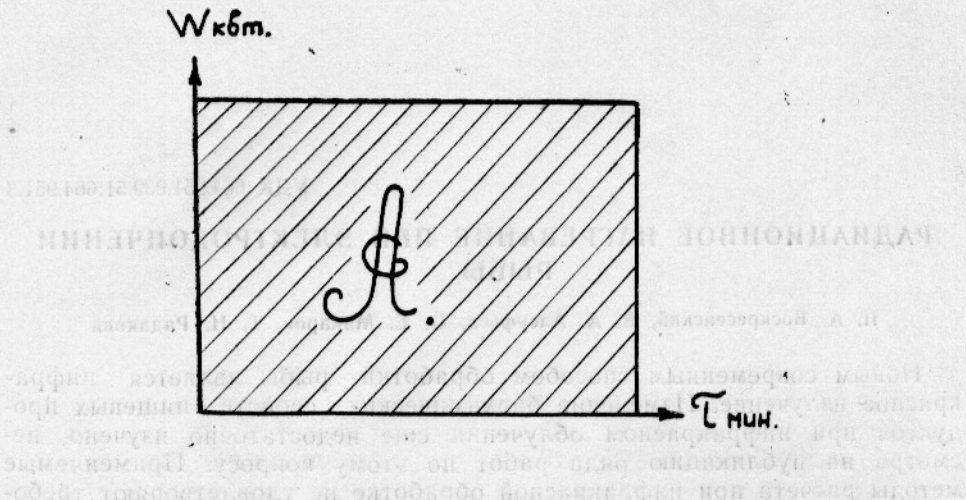
В последние годы многие рыбообрабатывающие предприятия (Киевский, Астраханский, Корсаковский, Тойласский рыбокомбинаты) используют электрокопильные установки, что дает возможность регулировать процессы, для которых эмпирическое установление режимов неприемлемо. Появилась необходимость в новом параметре, который характеризовал бы процесс на основании объективных показателей.

В электрокопильных установках с инфракрасным нагревом трудно определить тепловой режим, но сравнительно легко — расход электрической энергии.

Если по оси ординат отложить мощность, потребляемую инфракрасными излучателями, а по оси абсцисс время, в течение которого рыба находится между излучателями, то площадь (рисунок) будет характеризовать расход электрической энергии, затраченной на тепловую обработку рыбы. Назовем этот параметр «электрическим режимом копчения» и обозначим через A .

Электрический режим электрокопильной установки характеризуется количеством электрической энергии, поступающей к излучателям за время, в течение которого рыба находится между излучателями. При электрокопчении только в стадиях подсушки и пропекания наблюдает-

ся активное воздействие тепла на рыбу, а в стадии собственно копчения рыба находится как бы в термостате, так как температура дыма не превышает температуры рыбы.



Следовательно, электрический режим электрокопильной установки складывается из электрических режимов подсушки и пропекания и выражается формулой:

$$A = A_{\text{подс}} + A_{\text{проп}} \quad (1)$$

Известно, что при обработке рыбы инфракрасными лучами возникают значительные градиенты температур, которые, особенно в начале процесса, могут вызвать разрыв кожи и мяса рыбы и изменить ее форму. Поэтому для уменьшения градиентов температур в зонах подсушки и пропекания инфракрасные излучатели разделены на группы. Электрический режим любой группы инфракрасных излучателей можно определить по формуле:

$$a = W_n \cdot \tau_n, \quad (2)$$

где W_n — мощность группы излучателей, кВт;

τ_n — время прохождения рыбы между излучателями, мин;

$$\tau_n = \frac{S_n}{v},$$

где S_n — путь, который проходит рыба между излучателями, м;

v — скорость движения транспорта с рыбой, м/мин.

Величина S_n зависит от ширины излучателя и их количества в группе, но так как рыба проходит между двумя параллельными излучателями, то значение S_n определяется формулой

$$S_n = \frac{b \cdot n}{2},$$

где b — ширина излучателя, м;

n — число излучателей в группе.

Тогда

$$\tau_n = \frac{S_n}{v} = \frac{b \cdot n}{2v}.$$

Подставляя найденное значение τ_n в формулу (2), получим:

$$a_n = W_n \cdot \frac{b \cdot n}{2v}$$

но

$$W_n = I_n \cdot V_n \cdot 10^{-3},$$

где I_n — сила тока в группе излучателей, а;
 v_n — напряжение в группе излучателей, в;

Формула (2) примет следующий вид:

$$a_n = I_n \cdot V_n \frac{b \cdot n}{2} \cdot 10^{-3} \text{ [квт. мин]}. \quad (3)$$

Таким образом, общий «электрический режим» электрокопильной установки равен сумме «электрических режимов» каждой группы излучателей, расположенных в зонах подсушки и пропекания, и, пользуясь формулами (1), (2) и (3), такой режим можно выразить следующей общей формулой:

$$A = A_{\text{подс}} + A_{\text{проп}} = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n + a'_1 + a'_2 + a'_3 + \dots + a'_n =$$

$$\sum_1^n a + \sum_1^{n'} a' = \sum_1^n \frac{b \cdot r}{2v} IV \cdot 10^{-3} + \sum_1^{n'} \frac{b \cdot n'}{2v} I'V' \cdot 10^{-3} \text{ [квт. мин]}.$$

В процессе экспериментальных работ на электрокопильной установке конструкции ВНИРО-НИКИМРП, смонтированной в Усть-Нарвском консервном цехе, были определены оптимальные электрические режимы (в квт·мин) для кильки и салаки (табл. 1).

Таблица 1

Салака и килька	Зона		Общий электрический режим
	подсушки	пропекания	
Свежие	130	110	240
Мороженые	125	105	230

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛУЧЕВОГО НАГРЕВА

При проектировании электрокопильных установок, а также установок других типов необходимо знать преимущества и недостатки различных способов нагрева рыбы и возможности применения их при различных вариантах осаждения дыма. Принято считать, что лучевой нагрев по сравнению с конвективным более перспективен, так как лучевой поток быстрее прогревает материал. Теория теплопередачи достаточно убедительно доказывает это преимущество, однако длительное воздействие лучевого потока вызывает перегрев поверхности рыбы и нежелательные изменения ее мяса. Поэтому появилась необходимость прерывать поток лучевой энергии, что увеличивает время обработки рыбы, особенно мелкой, а поэтому эффективность лучевого нагрева значительно уменьшается.

Чтобы сравнить два способа тепловой обработки рыбы, величину количества подводимого тепла выражаем в килокалориях и вводим новый показатель — «удельное уменьшение массы» — отношение уменьшения массы к количеству подведенного тепла.

Опытный лучевой нагрев осуществлялся в электрокопильной установке при скорости транспортера 0,5—0,6 м/мин, а конвекционный нагрев — в механизированной тоннельной печи горячего копчения НИКИМРП (Таллинский рыбокомбинат) и в электрокопильной

установке (Усть-Нарвский консервный цех). Рыбу в последнем случае обрабатывали в камере копчения воздухом от дымогенератора ПСМ-ВНИРО в течение 22 мин при температуре 80°C.

Уменьшение массы определяли только на стадии подсушки как разность веса салаки в начале и в конце процесса. Всего произведено 12 опытов. В каждом опыте использовали шесть прутков, на каждый из них нанизывали по 20 рыб. Уменьшение массы при каждом способе нагрева относили к количеству подведенного тепла за один цикл и таким путем определяли удельную утечку. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Тип установки	Продолжительность обработки, мин	Потери веса, % от массы рыбы	Количество подведенного тепла, ккал	Удельное уменьшение массы, %/ккал
Конвективный способ				
Туннельная механизированная копильная печь горячего копчения	24	10,7	48581,3	0,0002
Электрокопильная установка	22	6,4	15602,1	0,0004
Лучевой способ				
Электрокопильная установка	22	15,0	14362,0	0,001
	18	14,0	13330,0	0,001

Как видно из данных этой таблицы, лучевой нагрев на стадии подсушки в 2,5—5 раз эффективнее конвективного. На стадии пропекания сравнительные опыты не проводились, так как в туннельных установках трудно выделить эту стадию и практически невозможно взвесить контрольные образцы рыбы. Можно предполагать, что на стадии пропекания эффективность лучевого нагревания будет несколько большей, чем конвективного.

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯСА РЫБЫ ПРИ ЕЕ ОБРАБОТКЕ ИНФРАКРАСНЫМИ ЛУЧАМИ

При выборе типа инфракрасного генератора с оптимальным диапазоном излучения и режима обработки необходимо учитывать соответствие спектральных характеристик продукта и потоков излучения, а также зависимость изменения пропускательной способности материала от его физико-химических свойств.

В связи с этим большое значение приобретают исследования изменения свойств пищевых продуктов при инфракрасной обработке. Такие исследования начаты сравнительно недавно, и результаты их отражены лишь в нескольких работах (Журавская, 1967; 1969). До настоящего времени изменения свойств рыбы при инфракрасном нагреве при электрокопчении оцениваются лишь степенью ее кулинарной готовности, состоянием кожного покрова и консистенцией (Воскресенский, 1960; Sikorski, 1960; Tilgner, 1961).

Цель наших исследований — изучить денатурационные изменения белков мышечной ткани мелкой рыбы при электрокопчении и при двухстороннем непрерывном облучении инфракрасными лучами различной длины волны.

Работа проводилась в Усть-Нарвском цехе Тойласского рыбокомбината на электрокопильной установке конструкции ВНИРО-НИКИМРП. Объект исследования — свежая весенняя салака I сорта

в начальной стадии автолиза, направляемая на производство консервов типа шпроты. Рыба проходила все стадии обработки, свойственные шпротному производству. Из производственной партии отбирали свежую и подсоленную салаку размером 14—15 см. Солили салаку в тузлуке плотностью 1,14—1,18 при температуре 15—17°C около 20 мин до среднего содержания соли 1,5%, обрабатывали в электрокопильной установке с оптимальным режимом: продолжительность полного цикла 60 мин (с охлаждением), продолжительность подсушки 22 мин. На стадиях подсушки и проварки рыбу обрабатывали прерывистым двухсторонним инфракрасным нагревом при помощи металлических панельных излучателей конструкции НИКИМРП. По данным Н. Н. Сахаровой (1969), излучатели мощностью 1,5 квт, $\lambda_{\max} = 4,2$ мкм создают энергетическую освещенность 0,7—0,8 вт/см². Кроме того, были использованы смонтированные в электрокопильной установке трубчатые рефлекторные излучатели мощностью 1,5 квт, $\lambda_{\max} = 2,7$ мкм, дающие энергетическую освещенность 1,1—1,2 вт/см² (Сахарова, 1969).

Рыбу непрерывно облучали с двух сторон излучателями двух типов до температуры 70°C в тканях у позвоночника. Температуру определяли при помощи термометра сопротивления типа ММТ-1.

Во всех случаях на анализ отбирали образцы мышц в среднем от десяти рыб, прошедших соответствующую стадию обработки.

При оценке изменений в мышечной ткани салаки в процессе инфракрасной обработки учитывали следующие показатели: содержание азота растворимых белков по методу Дайера (Dyer, 1950); содержание азота саркоплазматических белков экстракцией навески мышечной ткани фосфатным буфером (ионной силой 0,15, рН = 7,4) в условиях аналогичных извлечению растворимых белков; содержание азота миофибриллярных белков по разнице между азотом растворимых белков и белков саркоплазмы; влагоудерживающую способность методом Грау и Хамма в модификации В. П. Воловиной и Б. Кельман (1960).

Содержание влаги, общего и небелкового азота определяли стандартными методами. Результаты исследований по основным показателям, характеризующим денатурацию мышечных белков, приведены в табл. 3.

Таблица 3

ИК-излучатель	λ_{\max} , мкм	Продолжительность обработки, мин	Влагоудерживающая способность, %	Содержание азота				
				белкового, % к сухому остатку	небелкового, % от общего азота	растворимых белков	саркоплазматических белков	миофибриллярных белков
Салака свежая								
Рефлекторный кварцевый	2,7	0	57,1	12,1	12,6	45,3	17,5	27,8
Металлический панельный		3	37,8	9,4	17,9	9,2	6,6	2,6
Металлический панельный	4,2	6	37,5	9,5	17,9	9,0	6,5	2,5
Салака подсоленная								
Рефлекторный кварцевый	2,7	0	61,5	11,1	11,5	24,8	16,0	8,8
Металлический панельный		3	44,2	10,1	14,2	10,1	0,1	4,0
Металлический панельный	4,2	6	44,1	10,3	13,6	10,8	6,2	4,6
Электрокопильная установка с металлическими панельными излучателями		22	43,5	10,2	13,9	5,4	3,2	2,2
		(подсушка) 60	46,6	10,6	13,9	5,6	3,1	2,5
		(весь цикл)						

Непродолжительный посол салаки до содержания соли в пробе фарша 1,5% сокращает содержание влаги в мясе рыбы на 2—2,5%, повышает влагоудерживающую способность на 4—5% и уменьшает количество растворимых белков, вероятно, за счет постепенного изменения их свойств от поверхностных слоев мышечной ткани к позвоночнику. Содержание соли в поверхностных слоях, безусловно, выше 1,5—2% и, может достигать того значения (по данным Никкила — 3% (Nikkila, 1954), которое приводит к снижению растворимости белков. Определенное значение имеют температурные условия посола, они могут способствовать ускорению этого процесса.

Денатурации подвергаются прежде всего более лабильные миофибриллярные белки (миозиновая фракция). В целом характер тепловой денатурации белков в свежей и подсолённой салаке аналогичен.

Инфракрасный нагрев приводит к некоторому увеличению количества небелкового азота и значительному уменьшению растворимости белков, главным образом миофибриллярных. Сравнение непрерывного воздействия на рыбу инфракрасных лучей различной длины волны показывает, что в условиях опыта за счет различных энергетических характеристик излучателей, смонтированных в ЭКУ (при равном расстоянии от рыбы до излучателей), продолжительность обработки салаки до температуры 70°C кварцевыми излучателями ($\lambda_{\max} = 2,7 \text{ мкм}$) в два раза меньше, чем металлическими панельными ($\lambda_{\max} = 4,2 \text{ мкм}$). Однако биохимические изменения, происходящие при этом в мышечной ткани салаки, одинаковы. При электрокопчении мелкой рыбы по оптимальному режиму в электрокопильной установке основные изменения белков происходят на стадии подсушки (влагоудерживающая способность уменьшается в 1,3 раза, растворимость белков — в 8 раз). Дальнейшая тепловая обработка приводит лишь к потере веса рыбы и некоторому изменению структурно-механических свойств.

Выводы

1. Выведенный параметр — «электрический режим» — и метод его определения целесообразно использовать не только при экспериментах, но и на практике.
2. Инфракрасная обработка рыбы в 2,5—5 раз эффективнее конвективной.
3. Изменение растворимости белков в мышечной ткани салаки при непрерывном инфракрасном нагреве до 70°C различными излучателями идентичны.
4. При обработке салаки в электрокопильной установке основные денатурационные изменения белков мышечной ткани происходят на стадии подсушки, что следует учитывать при конструировании электрокопильных установок.

ЛИТЕРАТУРА

- Воскресенский Н. А., Калитин А. А., Павлов И. С. Способы нагрева рыбы. Электрокопчение. Сб. 4. ГОСИНТИ. М., 1960.
- Сахарова Н. Н. Использование инфракрасных излучателей в технологии рыбы. М., изд-во «Пищевая промышленность», 1969.
- Журавская Н. К., Рогов И. А., Федорова Д. Г. К вопросу оценки изменений свойств белковых веществ мяса при его обработке ИК-лучами. Тезисы конференции. Новые физические методы обработки пищевых продуктов. М., 1967.
- Журавская Н. К., Рогов И. А., Чукарева Д. Г. Изменение свойств мяса при тепловой обработке инфракрасными излучателями. «Мясная индустрия», 1969, № 8.
- Воловинская В., Кельман Б. Определение влагопоглощаемости мяса. «Мясная индустрия», 1960, № 6.

- Калитин А. А., Павлов И. С. Тепловой расчет электрокопильного аппарата. Сб. «Новые физические методы обработки пищевых продуктов». Киев, 1963.
- Sikorsky, Z. E. Zur Qualität elektrostatischer geräucherter Ware. «Die Lebensmittelindustrie», 1960, 7.
- Tilgner, D., Sikorsky, Z. Technische und technologische Probleme der elektrostatischen Räucherung. «Die Fleischwirtschaft». 1961, 13, 4.
- Dyer, W., French, H., Snow, J. Proteins in fish muscle. J. Fish. Res. Bd. Canada, Vol. VII, 10, 1950.
- Nikkilä, O. Linko, R. Suomen Kemistilehti, B. 27, 1954.

RADIATION HEATING IN ELECTROSTATIC SMOKING OF FISH

N. A. Voskresensky, V. A. Alsufyev, O. E. Makarov, and T. N. Radakova

SUMMARY

Biochemical properties of fish change under the influence of infra-red rays of quartz radiators ($\lambda_{\max}=2.7 \mu\mu$), and metal plate radiators ($\lambda_{\max}=4.2 \mu\mu$).

A new parameter «electrical regime» for an electrosmoking plant is suggested, and a formula is developed to be used when regulating the thermal processing of fish. A special index of «specific reduction of weight» is used to compare the efficiency of infra-red heating with that of convectional heating.

RECHAUFFEMENT RADIATIF A L'ELECTROFUMAGE DU POISSON

N. A. Voskresensky, V. A. Alsoufiev, O. E. Makarov, T. N. Radakova

RÉSUMÉ

Les caractéristiques biochimiques du poisson modifient au traitement avec les rayons infrarouges des réflecteurs à quartz ($\lambda_{\max}=2,7 \mu\mu$) et de ceux à plaques métalliques ($\lambda_{\max}=4,2 \mu\mu$). On a proposé le paramètre «régime électrique» pour l'installation à l'électrofumage et on a déduit la formule pour le réglage du processus de traitement thermique du poisson.

Le travail compare l'efficacité du rechauffement infrarouge et convectif au moyen du coefficient spécial «réduction spécifique du poids».