

УДК 664.951.039.64

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ РЫБЫ
ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Т. Н. Радакова

При тепловой обработке продуктов инфракрасным излучением в отличие от конвективного и кондуктивного способов тепловые процессы интенсивнее и качество готовых продуктов лучше.

Скорость нагревания продукта инфракрасным излучением зависит от различных факторов, в том числе от длины волны максимального излучения (λ_{\max}) и энергетической освещенности (E).

Длина волны максимального излучения характеризует свойства инфракрасного излучения в соответствии с частотой электромагнитных колебаний. Энергетическая освещенность является интегральной характеристикой инфракрасного излучения определенной длины волны и обеспечивает требуемую интенсивность обработки продукта.

В процессе инфракрасной обработки необходимо регулировать ее режимы, для чего можно использовать тот или иной параметр излучения. Однако в некоторых установках изменение режима излучения сопровождается изменением обоих параметров (λ_{\max} и E), например, при повышении или понижении температуры поверхности излучения.

Изменение параметров инфракрасного излучения проявляется прежде всего в изменении температурного поля в обрабатываемом продукте и соответственно с этим продолжительности нагревания и физико-химических свойств продукта.

В исследованиях [9—11] отмечено, что для инфракрасного излучения характерно быстрое нагревание поверхностных слоев продукта и достаточно высокие температурные градиенты. Температура поверхностных слоев может превышать температуру среды [5, 7]. Особенности инфракрасного нагрева проявляются и в свойствах продуктов. Исследование изменений мышечных белков говяжьего мяса при обработке его инфракрасными лучами от излучателей ГИИВ-1 позволило установить [4], что степень денатурации белков по слоям продукта различна и это должно учитываться при выборе направлений и условий использования указанных источников излучения. Аналогичные данные для других источников излучения были получены в работе Станку [13].

Таким образом, при использовании инфракрасного излучения для тепловой обработки продуктов некоторые его особенности могут сказываться на качестве готового продукта, что необходимо учитывать.

Цель работы — установить влияние энергетической освещенности на продолжительность нагревания салаки и денатурационные изменения мышечных белков рыбы при инфракрасной обработке. Кроме того, проведено исследование послыонных изменений некоторых физико-химических свойств рыбы в результате одностороннего инфракрасного облучения.

Исследования проводили на лабораторной установке НИКИМРП, в которой в качестве источников излучения использованы кварцевые

излучатели КИ-1000 ($\lambda_{\max} = 1,4 \text{ мкм}$) с параболическими отражателями. В установке (рис. 1) на легких стойках при помощи подвижных штанг укреплены 12 параболических отражателей для кварцевых ламп (по шесть сверху и снизу). Количество излучателей можно изменять в зависимости от условий опыта. Обрабатываемый продукт помещают на сетку между излучателями. Штанги с излучателями могут быть установлены под необходимым углом к облучаемому на сетке образцу. Кроме того, перемещение штанг с сеткой позволяет менять расстояние от излучателей до образца и тем самым энергетическую освещенность.

Рис. 1. Схема установки с использованием кварцевых излучателей КИ-1000.

5 см и высотой 2 см.

Рыбу и фарш обрабатывали односторонним инфракрасным излучением, чтобы исключить влияние металлической сетки при обработке образцов снизу и выявить послойное изменение физико-химических свойств в облучаемых образцах. Различную энергетическую освещенность поверхности образцов создавали путем изменения расстояния до излучателей.

Энергетическую освещенность определяли при помощи радиометра конструкции Центрального конструкторского бюро ультразвуковых и высокочастотных установок. Для измерения температуры в исследуемых образцах на различных этапах инфракрасной обработки использовали термопару ХК в сочетании с потенциометром ЗПВ2-11А. Температуру в рыбе определяли под кожей и у позвоночника, а в образцах фарша — на различной высоте от поверхности нагрева.

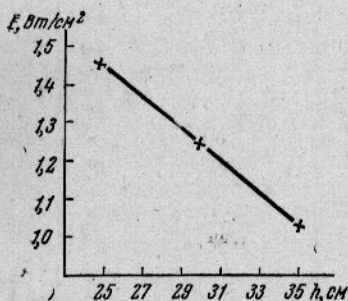


Рис. 2. Зависимость энергетической освещенности от расстояния до излучателей КИ-1000.

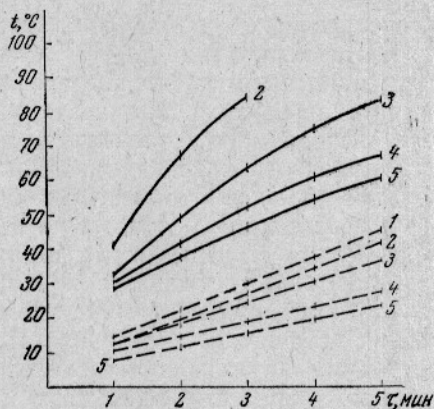


Рис. 3. Изменение температуры в центре образцов (—) и фарша (---) в процессе инфракрасной обработки излучателями КИ-1000 при различной энергетической освещенности:

1 — $E > 1,45 \text{ Вт/см}^2$ ($h = 15 \text{ см}$); 2 — $E > 1,45 \text{ Вт/см}^2$ ($h = 20 \text{ см}$); 3 — $E = 1,45 \text{ Вт/см}^2$ ($h = 25 \text{ см}$); 4 — $E = 1,24 \text{ Вт/см}^2$ ($h = 30 \text{ см}$); 5 — $E = 1,03 \text{ Вт/см}^2$ ($h = 35 \text{ см}$).

Изменения физико-химических свойств мышечной ткани салаки в результате инфракрасной обработки устанавливали путем определения содержания азота растворимых белков методом Дайера [14] и небелкового азота стандартным методом, а величины влагоудерживающей способности методом Грау и Хамма в модификации В. Воловиной и Б. Кельман [2].

В условиях опыта поток инфракрасного излучения создавали три излучателя КИ-1000 в параболических отражателях. Расстояние от излучателей до образца изменяли от 20 до 35 см и при этом определяли энергетическую освещенность таким образом, чтобы радиометр (образец) располагался против средней части группы излучателей, где на-

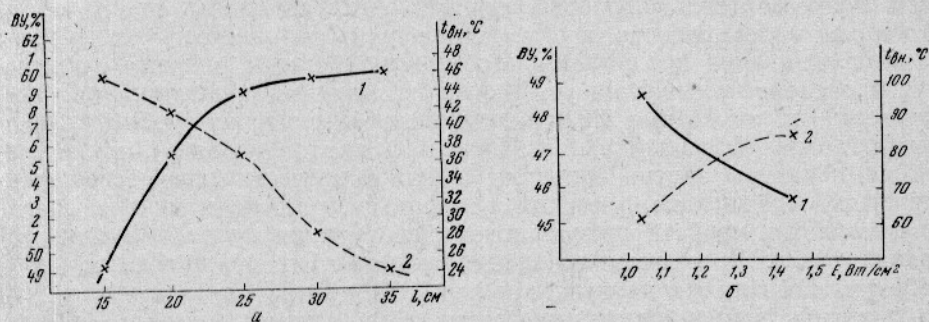


Рис. 4. Изменение температуры в середине образцов фарша (а) и салаки (б) и влагоудерживающей способности в зависимости от энергетической освещенности: 1 — температура; 2 — влагоудерживающая способность;

блюдается максимум энергетической освещенности. Зависимость энергетической освещенности от расстояния представлена на рис. 2. Результаты показывают, что при постоянной длине волны инфракрасного излучения энергетическая освещенность определяется расстоянием от излучателя до исследуемого объекта и находится в обратной зависимости от него.

Характер изменения температур в средней части образцов рыбы и фарша, нагреваемых в течение 5 мин инфракрасным излучением в условиях различной энергетической освещенности, показан на рис. 3.

Увеличение энергетической освещенности образцов фарша (увеличение расстояния до излучателей) при одинаковой продолжительности обработки приводит к более глубокому прогреву поверхностного слоя, увеличению теплопроводности и повышению температуры внутри образца (рис. 4, а). С увеличением температуры влагоудерживающая способность уменьшается, что особенно заметно при энергетической освещенности выше $1,45 \text{ Вт/см}^2$ ($h < 25 \text{ см}$). При $E = 1,24 \text{ Вт/см}^2$ и $E = 1,03 \text{ Вт/см}^2$ влагоудерживающая способность почти не изменяется, что связано с глубиной прогрева образцов фарша.

Результаты обработки свежей салаки в течение 5 мин при различной энергетической освещенности представлены на рис. 4, б. Характер

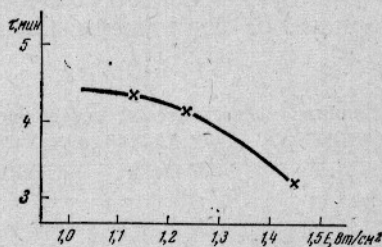


Рис. 5. Изменение продолжительности нагревания салаки излучателями КИ-1000 в зависимости от энергетической освещенности

изменения температуры у позвоночника и влагоудерживающей способности мяса салаки в зависимости от энергетической освещенности аналогичен зависимостям, полученным для образцов фарша.

Интересен вопрос, в какой степени сказывается увеличение энергетической освещенности (расстояние до рыбы) на продолжительность нагревания рыбы до одинаковой температуры внутри нее. Такая зависимость была получена при одностороннем инфракрасном облучении дефростированной подсолонной салаки ($l=14\div 15$ см). Рыбу обрабатывали до температуры у позвоночника 60°C (рис. 5).

При исследовании подобной зависимости важно по возможности исключить влияние конвективной составляющей на процесс тепловой обработки при инфракрасном излучении [5, 8]. В использованной нами установке температура воздуха составляла около 55°C , при этом в общем процессе тепловой обработки конвективная составляющая мала, что давало возможность изучать в основном радиационный нагрев.

На основании предварительных данных были выбраны условия для проведения опытов по установлению влияния энергетической освещенности на некоторые физико-химические изменения в обрабатываемых образцах фарша и рыбы. Поскольку для образцов рыбы изменение температуры внутри них при различной энергетической освещенности выражено заметнее, чем для фарша (см. рис. 3), изменение физико-химических свойств при тепловой денатурации исследовали на образцах рыбы. Критерием сравнения являлась продолжительность обработки, так как из данных, представленных на рис. 3, следует, что при одинаковой продолжительности обработки рыбы в поле инфракрасного излучения различной энергетической освещенности температура внутри рыбы различная. Продолжительность обработки (3,5 мин) выбрана таким образом, чтобы при $E=1,45$ Вт/см² температура внутри рыбы у позвоночника за этот промежуток времени достигала 70°C . В течение этого промежутка времени проводилась обработка аналогичных образцов салаки при $E=1,24$ Вт/см² и $E=1,03$ Вт/см².

Различное температурное поле, образующееся в рыбе в зависимости от энергетической освещенности, вызывает соответствующие физико-химические изменения ткани, которые оценивались по некоторым показателям денатурации мышечных белков (растворимости белков, содержанию небелкового азота). В процессе исследований определяли температуру под кожей рыбы и у позвоночника (табл. 1).

Таблица 1

Влияние энергетической освещенности на некоторые физико-химические свойства мышечной ткани салаки при термической обработке инфракрасным излучением

E, Вт/см ²	Температура рыбы, °C		Содержание влаги, %	Азот растворимых белков, % к белковому азоту	Небелковый азот, % к общему азоту
	у позвоночника	под кожей			
0 (свежая рыба)	—	—	80,5	60,2	12,0
1,03	54	75	80,5	15,7	14,6
1,24	61	84	79,3	12,4	14,8
1,45	70	96	78,4	5,9	16,3

Как видно из табл. 1, рост энергетической освещенности образцов рыбы вызывает увеличение температуры внутри рыбы и под кожей, которое определяет физико-химические изменения в мышечной ткани. Уменьшение растворимости мышечных белков и увеличение содержания небелкового азота при повышении энергетической освещенности соответствуют общей картине тепловой денатурации белков независимо от источников тепла [1, 6, 15].

Увеличение энергетической освещенности от 1,03 до 1,24 Вт/см² при обработке излучателями КИ-1000 вызывает незначительное изменение физико-химических показателей мышечной ткани, обусловленных денатурацией белков. В то же время в интервале энергетической освещенности от 1,24 до 1,45 Вт/см² при одинаковой продолжительности обработки денатурационные изменения мышечных белков значительно больше.

Вероятно, при температурах 54—61°С во внутреннем и 75—84°С в поверхностных слоях рыбы ($E=1,03\div 1,24$ Вт/см²) глубина денатурационных изменений мышечных белков меньше, чем при температурах 61—70°С во внутреннем и 85—96°С в поверхностном слоях ($E=1,24\div 1,45$ Вт/см²).

Известно, что при инфракрасной обработке мяса и рыбы лучи проникают на небольшую глубину (до нескольких миллиметров) и в соответствии с этим создается температурное поле различной величины по высоте обрабатываемого продукта [3, 4, 12, 13, 16, 17]. Имеются данные о том, что при инфракрасной обработке мяса в зависимости от условий обработки физико-химические свойства поверхностных и внутренних слоев различны [4, 13]. Для рыбы подобные данные о физико-химических изменениях отсутствуют.

В случае двустороннего облучения мелкой рыбы типа салаки трудно установить послойные изменения, так как практически невозможно выделить отдельные слои по высоте проваренной рыбы.

Послойные изменения некоторых физико-химических свойств рыбы при инфракрасном нагреве были исследованы в модельных условиях — на образцах фарша из филе свежей салаки. Образцы фарша формовали в виде цилиндра высотой 2 см и диаметром 5 см.

Режим инфракрасного излучения от КИ-1000 был выбран на основе данных по обработке фарша при различной энергетической освещенности (см. рис. 4, а). Для энергетической освещенности 1,45 Вт/см² глубина прогрева по визуальным наблюдениям наибольшая (около 0,5 см), что позволило выделить по высоте цилиндра три слоя: верхний (около 0,5 см), средний (около 0,5 см) и нижний (около 1 см). Образцы фарша обрабатывали в течение 5 мин, за это время температура в середине цилиндра составила 37°С, а в поверхностном слое — 70°С. После обработки образец фарша разрезали на три указанных слоя и в них определяли содержание влаги и степень денатурации мышечных белков (табл. 2).

Таблица 2

Характер послойных изменений физико-химических свойств образца рыбного фарша в результате одностороннего инфракрасного облучения

Слой	Высота, см	Содержание влаги, %	Азот растворимый, % к белковому азоту	Азот небелковый, % к общему азоту
Исходный образец	—	80,5	60,2	12,0
Верхний	Около 0,5	77,0	12,6	17,6
Средний	Около 0,5	79,4	23,4	14,2
Нижний	Около 1	79,9	29,4	12,5

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что денатурационные изменения белков различны по высоте образца и определяются тем температурным полем, которое характеризует глубину проникновения излучения в образец и его теплофизические свойства.

В верхнем слое фарша, где температура в результате инфракрасной обработки максимальна (70°С), уменьшение растворимости белков

наиболее значительно — на 47,6% против свежей ткани. По содержанию растворимых белков средний и нижний слой отличаются незначительно — на 5,7%. Рост небелкового азота в процессе тепловой обработки выражен в меньшей степени, однако заметно различие его содержания в указанных слоях. Наибольшее содержание небелкового азота — в верхнем слое. Он подсыхает в виде корочки и содержит влаги на 2,9% меньше, чем нижний. Нижний слой фарша по всем показателям отличается от исходного свежего образца, вероятно, за счет теплопроводности и некоторого воздействия инфракрасного излучения на боковую поверхность образца.

Общая картина послых изменений физико-химических свойств образцов рыбного фарша в результате воздействия инфракрасного излучения аналогична результатам, полученным для образцов мяса [4].

ВЫВОДЫ

1. При постоянной длине волны инфракрасного излучения энергетическая освещенность определяется расстоянием от излучателя КИ-1000 до исследуемого объекта и находится в обратной зависимости от него.

2. С увеличением энергетической освещенности (при $\lambda_{\max} = \text{const}$) сокращается продолжительность нагревания рыбы.

3. Установлена зависимость между энергетической освещенностью (для КИ-1000) и некоторыми физико-химическими свойствами обрабатываемой рыбы. Рост энергетической освещенности вызывает увеличение температуры под кожей и внутри рыбы, которое определяет более значительные физико-химические изменения мяса салаки, связанные с тепловой денатурацией мышечных белков — понижение растворимости белков, увеличение содержания небелкового азота и уменьшение влагоудерживающей способности мяса.

4. При одностороннем инфракрасном облучении наиболее значительные изменения денатурационного характера обнаруживаются в верхних слоях продукта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баль В. В., Брухис Л. В. О термоустойчивости ткани некоторых видов рыб. — «Известия вузов СССР. Пищевая технология», 1967, № 4, с. 73—74.
2. Воловинская В., Кельман Б. Определение влагопоглощаемости мяса. — «Мясная индустрия СССР», 1960, № 6, с. 47—48.
3. Гельман В. Е., Яроцкий В. Д. Использование инфракрасного излучения в пищевой промышленности. Опыт применения новых физических методов обработки пищевых продуктов. М., ГосИНТИ, 1960, с. 18—22.
4. Журавская Н. Н., Рогов И. А., Чукарева Д. А. Изменения свойств мяса при тепловой обработке инфракрасным излучением с использованием горелок ГИИВ-1. — «Мясная индустрия СССР», 1969, № 8, с. 35—37.
5. Калантарова М. В. Приготовление сардин с применением инфракрасного излучения. М., «Рыбное хозяйство», 1962, с. 12—17.
6. Ковальчук Г. К. К вопросу об изменении мышечных белков рыбы при тепловой обработке. — «Труды Мосрыбвуза», 1954, т. VI, с. 139—151.
7. Лапшин И. И. Новая технология горячего копчения рыбы и производства консервов типа шпрот и сардин. — В кн.: Новые физические методы обработки пищевых продуктов (тезисы работ межвузовской конференции). М., 1958, с. 30—39.
8. Патеев А. Х., Гончаров В. И. Некоторые вопросы обработки кильки инфракрасным излучением. — «Труды КаспНИРХ», 1970, т. 25, с. 110—124.
9. Рогов И. А., Горбатов А. В. Новые физические методы обработки мясопродуктов. М., «Пищевая промышленность», 1966, с. 156—157.
10. Сахарова Н. Н. Термическая обработка салаки и кильки инфракрасными лучами. — «Научно-технический бюллетень ИНИКИМРП», 1958, № 5—6, с. 54—58.
11. Сахарова Н. Н. Тепловая обработка рыбы инфракрасными излучениями. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Л., 1965. 25 с.
12. Сахарова Н. Н. Использование инфракрасных излучений в технологии рыбы. М., «Пищевая промышленность», 1969, 164 с.

13. Станку М. Исследование изменений свойств говяжьего мяса в процессе сублимационной сушки при радиационном теплоподводе. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. М., 1965. 30 с.

14. Dyer W., French H., Snow Y. Proteins in fish muscle. J. Fish. Res. Bd. Canada. vol. VII, No. 10, 1950, p. 585—593.

15. Hamm R. Heating of muscle system. The Physiology and Biochemistry of Muscle as a Food, 1966, p. 64—80.

16. Herrmann Y. Überblick über die Wirkung elektromagnetischer Strahlen auf Lebensmittel, insbesondere in Abhängigkeit von der Wellenlänge. «Die Lebensmittelindustrie», Bd. 9, H. 10, 1962, p. 37—40.

17. Schierbaum F. Infrarotstrahlung und ihre Anwendung in der Fleischindustrie. «Fleischmeister», Bd. 2, 1958, p. 18—25.

SOME DISTINGUISHING FEATURES IN PROCESSING FISH BY INFRA-RED RADIATION

T. N. Radakova

SUMMARY

A relationship between the density of the heat flow (E_w/cm^2) (one of the infra-red radiation parameters) of a quartz irradiator KI-1000 and some physical and chemical properties of the treated fish has been found. An increase in the density of the heat flow (at $\lambda_{max} = \text{const}$) leads to a rise in the temperature under the skin and inside the body of Baltic herring, which effect determines physical and chemical changes of muscle tissue associated with denaturation from heating: lower extractability of muscle proteins, an increased content of non-protein nitrogen and a lower water-retention ability of tissues. It has been shown that most significant changes due to denaturation, when one-sided infra-red radiation is applied, are to be found in the upper layers of the product (fish-mince samples).

QUELQUES PARTICULARITÉS DE TRAITEMENT DU POISSON PAR IRRADIATION INFRAROUGE

T. N. Radakova

RÉSUMÉ

La relation entre l'éclairement énergétique, un des paramètres de l'irradiation infrarouge (pour KI-1000) et certaines caractéristiques physico-chimiques du poisson traité est établie.

L'accroissement de l'éclairement énergétique ($\lambda_{max} = \text{const}$) produit l'accroissement de la température sous la peau et à l'intérieur du salaka, ce qui détermine les changements physicochimiques du tissu musculaire liés à la dénaturation thermique, diminution de dissolubilité des protéines musculaires, augmentation de la teneur en azote non-proteique et la diminution du pouvoir de retenir l'humidité dans le tissu musculaire.

Il est montré qu'avec l'irradiation infrarouge unilatérale les changements les plus importants de dénaturation sont révélés dans les couches supérieures du produit (des échantillons de la farce de poisson).