

УДК 664.951.3.041.38 : 664.951.32.664.8.03

## Использование электрофизических методов в технологии холодного бездымного копчения гидробионтов

В.А. Гроховский<sup>1</sup>, Н.Н. Морозов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Технологический факультет МГТУ, кафедра технологий пищевых производств

<sup>2</sup> Политехнический факультет МГТУ, кафедра физики

**Аннотация.** Проведены исследования с применением экспериментальной установки по использованию электростатического поля (ЭСП) для интенсификации процесса обезвоживания рыбы и процесса холодного бездымного копчения. В результате экспериментов установлено, что при обработке скумбрии и ставриды воздухом, ионизированным ЭСП, процесс извлечения воды из рыбы ускоряется на 12-17 % по сравнению с обычными условиями сушки. Применение ЭСП целесообразно в технологии холодного бездымного копчения как для осаждения коптильного препарата, так и для интенсификации обезвоживания рыбы.

**Abstract.** The researches with the help of an experimental set for application the electrostatic field (ESF) for intensification of the fish dehydration process and process of cold smokeless smoking have been carried out. Due to the experiments it has been determined that the extraction of water from fish (by air ionized in the ESF) increases on 12-17 % as compared to usual drying conditions during processing mackerel and horse mackerel. The use of the ESF is practicable in the cold smokeless smoking technology as for liquid smoke thickening and for intensification of the fish dehydration process as well.

**Ключевые слова:** электрофизические методы, гидробионты, холодное бездымное копчение, напряжённость, электростатическое поле, скорость сушки, эффективность обезвоживания

**Key words:** electro-physical methods, hydrobionts, cold smokeless smoking, intensity, electrostatic field, rate of drying, dehydration efficiency

### 1. Введение

Применение электрофизических методов при обработке гидробионтов, в частности, при холодном копчении рыбы, несомненно, включает в себя инновационную составляющую. С целью оптимизации процесса копчения, замены дымового способа с множеством трудно разрешимых проблем на альтернативное бездымное с существенными преимуществами, был проведен комплекс исследований, включающий изучение возможности использования электростатического поля высокого напряжения (ЭСПВН) как для интенсификации процесса обезвоживания рыбы, так и для процесса холодного бездымного копчения.

В технологии рыбы холодного копчения важнейшим качественным показателем является конечное содержание воды в продукте (порядка 60 %), которое достигается подсушиванием рыбы после придания основных копченых свойств (колера, аромата, вкуса). Без интенсификации процесса обезвоживания рыбы разрабатываемый способ не может быть эффективным и экономически целесообразным, т.к. при обработке многих видов рыб с невысоким содержанием жира процесс подсушивания составляет от 60 до 80 % всей продолжительности холодного копчения.

Поскольку при создании ЭСПВН происходит ионизация воздуха, который как сушильный агент имеет отличающиеся от обычной воздушной среды свойства, целесообразно провести эксперименты по выявлению эффективности обезвоживания рыбы в электростатическом поле по сравнению с обычной сушкой.

### 2. Влияние воздействия ионизированного воздуха на степень обезвоживания рыбы

Ранее в Московском государственном университете прикладной биотехнологии был разработан способ сушки, предусматривающий зарядку высушиваемого продукта электрическим потенциалом и обдув его ионизированным сушильным агентом, заряженным электрическим потенциалом, противоположным по знаку потенциала продукта. Возникающий вокруг продукта тонкий пограничный слой, нечто вроде воздушной "подушки", при обдуве ионизированным воздухом разрушается, в результате ускоряются процессы массо- и теплопередачи (Бабакин, 1986).

Задачей настоящих экспериментов являлось установление скорости обезвоживания опытных партий рыбы с применением ЭСПВН по сравнению с контролем (подсушивание без ЭСПВН). Соответствующие эксперименты были проведены с применением экспериментальной установки (рис. 1) на нескольких партиях скумбрии и ставриды.

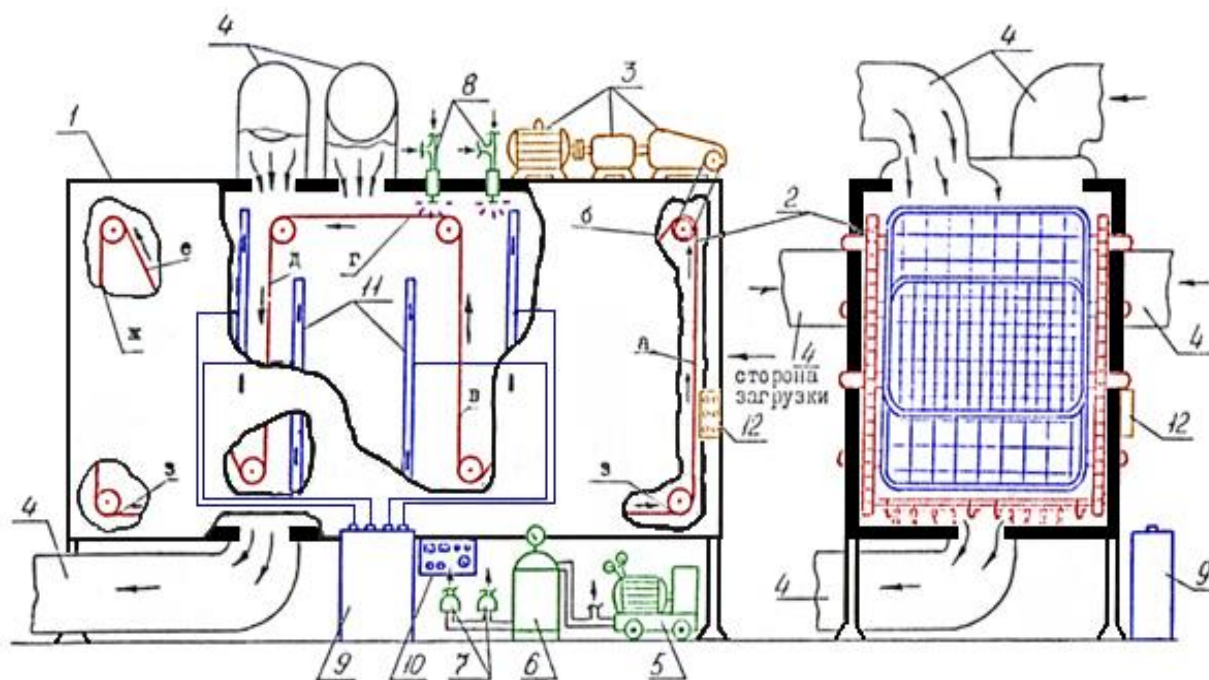


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – корпус; 2 – цепной конвейер: а, б, в, г, д, е, ж, з – ветви конвейера; 3 – эл. привод; 4 – воздухопроводы; 5 – компрессор; 6 – бак с копильной жидкостью; 7 – электромагнитные клапана; 8 – распылители; 9 – источник высокого напряжения (ИВН); 10 – пульт управления ИВН; 11 – коронирующие сетки-электроды; 12 – пульт управления эл. приводом

Посол рыбы на месте лова, приёмку, отмачивание, а также все другие подготовленные операции перед сушкой осуществляли в соответствии с действующей технологической документацией (*Сборник технологических инструкций...*, 1994).

Химические показатели скумбрии атлантической и ставриды океанической опытной и контрольной партий оказались обычными, а пределы их колебаний были сравнительно невелики (табл. 1).

Подготовленную к копчению, нанизанную на прутки рыбу (скумбрию или ставриду) с содержанием соли 4-6 %, загружали на штанги цепного конвейера 2 экспериментальной установки. Далее рыбу перемещали в течение 30 минут по всем зонам установки, подвергая подсушке теплым неионизированным воздухом с температурой 17-21 °С и относительной влажностью 40-60 %. Возвратившись в зону загрузки, т.е. совершив с помощью цепного конвейера полный оборот, рыбу перемещали в зону электростатического поля напряжением 40-60 кВ (ветвь "в"), где она приобретала наведенный положительный заряд (конвейер и, следовательно, рыба заземлены). Температуру воздуха регулировали, в зависимости от вида рыбы, кондиционером КД-20. Когда рыба попадала в зону действия электродов высокого напряжения (вторая зона электростатического поля, ветвь "д", рис. 1), контакт с ионизированным воздухом (температура 20-30 °С) приводил к интенсивному удалению воды из рыбы, заряженной положительно. Использование электростатического поля позволяло, как об этом говорилось выше, интенсифицировать процесс обезвоживания рыбы за счет воздействия на граничащий с рыбой воздушный слой и микроструктуру поверхностного слоя рыбы отрицательно заряженных ионов воздуха. Направляясь по силовым линиям поля к противоположно заряженной рыбе, ионы воздуха, перемещаясь с огромной скоростью, "пробивали" упомянутый пограничный воздушный слой, разрушая его и способствуя ускорению как обезвоживания, так и процесса копчения в целом.

Подсушивание рыбы ионизированным воздухом на ветви "д" движущегося конвейера 2 (рис. 1) осуществляли в течение 3,5-4,5 мин, далее в течение 28-30 мин рыбу не подвергали воздействию потока ионизированного воздуха в период движения конвейера (ветви "з", "а", "б"). Такая передышка способствует сбалансированию массо- и теплообменных процессов. Циклы подсушки воздухом (ионизированным и неионизированным) повторяли до готовности продукта в соответствии с требованиями стандартов. После завершения подсушки источник высокого напряжения отключали, рыбу охлаждали воздухом с температурой 14-16 °С в течение 0,5-1 час. В контрольном эксперименте ЭСПВН не использовали.

Об изменении содержания воды в процессе подсушивания решили судить по уменьшению массы как отдельных экземпляров, так и всех экземпляров в партиях рыбы (опытных и контрольных).

С помощью стандартных приёмов определены средние значения изменений массы тушек рыбы (в %) в процессе сушки соответственно в опытном и контрольном экспериментах (рис. 2 и 3).

Таблица 1. Химический состав отмоченной рыбы

Вид рыбы	Вода, %	Белковые вещества ОА-6,25, %	Липиды, %	Хлорид натрия (NaCl), %	Зола, %
Скумбрия атлантическая обезглавленная	62,50 ± 1,45	15,74 ± 0,23	13,30 ± 1,00	7,07 ± 0,57	7,99 ± 0,44
Ставрида океаническая обезглавленная	71,52 ± 0,44	15,03 ± 0,35	3,60 ± 0,65	6,95 ± 0,05	6,30 ± 0,65

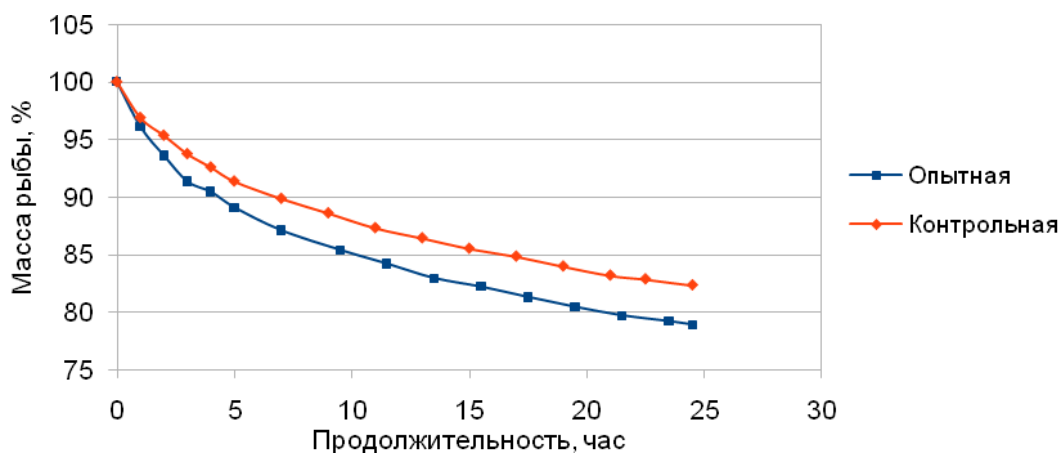


Рис. 2. Изменение массы скумбрии в опытной и контрольной партиях в процессе подсушивания

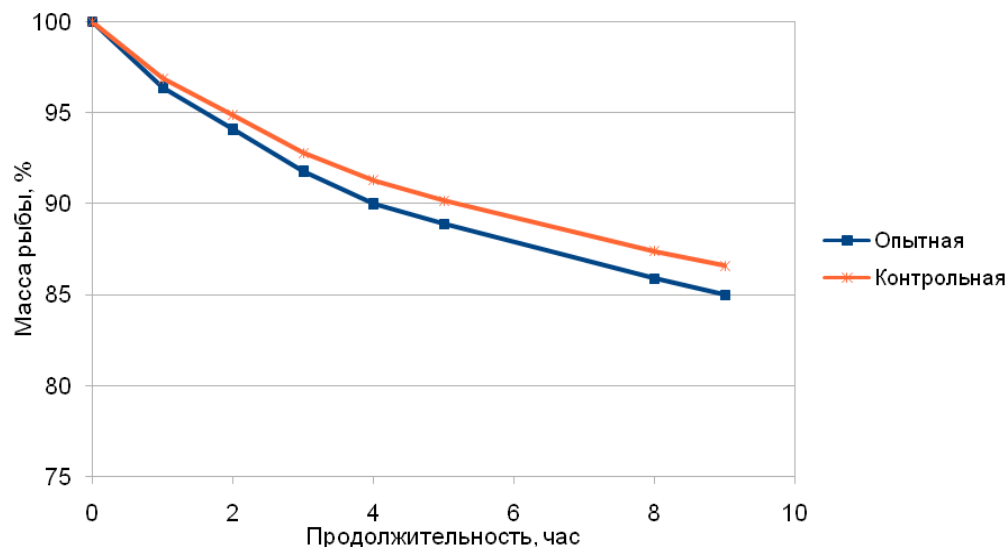


Рис. 3. Изменение массы ставриды в опытной и контрольной партиях в процессе подсушивания

Данные рис. 2 и 3 свидетельствуют о превышении скорости изменения массы экземпляров рыбы в ЭСП по сравнению с аналогичным процессом при его отсутствии.

Проверку достоверности полученных данных проводили с помощью методов математической обработки (Решетников, 2002).

В табл. 2 приведены данные по определению средних значений масс экземпляров рыбы в процентах ( $X$  и  $Y$ ) в опытном и контрольном экспериментах, а также оценки дисперсий –  $S_{IX}$ ,  $S_{IY}$ .

Проверку однородности полученных дисперсий ( $S_{IX}$  и  $S_{IY}$  опытных и контрольных образцов, соответственно) проводили по G-критерию Кохрена.

По известным формулам (Решетников, 2002):

$$G_{PX} = S_{ix\max}^2 / \sum_{i=1}^N S_{ix}^2; \quad G_{PX} = 4,34 / 28,18 = 0,154;$$

$$G_{PY} = S_{iy\max}^2 / \sum_{i=1}^N S_{iy}^2; \quad G_{PY} = 9,32 / 56,74 = 0,164$$

были определены расчётные значения G-критерия Кохрена, которые составили 0,154 и 0,164 соответственно для опытных и контрольных образцов и оказались меньше табличных. При общем количестве опытов, равном 15, числе степеней свободы, равном 4, и доверительном интервале, равном 95 %, табличное значение G-критерия Кохрена составило 0,2419 как для опытных, так и для контрольных образцов.

Таблица 2. Средние значения масс экземпляров скумбрии, оценка дисперсии в опытном и контрольном экспериментах

Опытные образцы			Контрольные образцы		
Интервал отбора проб, час	X Масса тушек, %	S <sup>2</sup> <sub>ix</sub> Оценка дисперсии	Интервал отбора проб, час	Y Масса тушек, %	S <sup>2</sup> <sub>iy</sub> Оценка дисперсии
0	100	0	0	100	0
1	96,06	0,74	1	96,9	0,08
2	93,36	0,66	2	95,36	0,27
3	91,42	0,77	3	93,76	0,43
4	90,12	0,84	4	92,6	0,638
5	89,3	0,67	5	91,38	1,176
7	87,6	2,44	7	89,88	2,01
9,5	85,58	1,33	9,5	88,62	2,02
11,5	84,26	1,5	11,5	87,72	1,89
13,5	83,48	2,32	13,5	86,64	3,54
15,5	82,68	2,08	15,5	85,84	3,65
17,5	81,72	2,19	17,5	84,86	5,32
19,5	80,86	2,96	19,5	84	8,05
21,5	80,34	2,52	21,5	83,04	9,28
23,5	79,94	3,09	23,5	82,6	9,09
24,5	79,2	4,34	24,5	82,36	9,32
$\sum S_{ix}^2 = 28,18$			$\sum S_{iy}^2 = 56,74$		

Таким образом, установлено, что результаты проведенных экспериментов являются воспроизводимыми и, следовательно, соответствующие значения дисперсий могут быть усреднены (Решетников, 2002).

Скорость изменения массы рыбы в процессе обработки воздухом за определенный период времени условно названа нами скоростью сушки.

Скорость сушки в опытном ( $V_0$ ) и контрольном ( $V_K$ ) экспериментах можно установить по следующим формулам:

$$V_0 = (X_H - X_K) / \tau_1 \% \text{ ч}; \quad V_0 = (100 - 79,4) / 24,5 = 0,84 \% \text{ ч}; \quad (1)$$

$$V_K = (Y_H - Y_K) / \tau_2 \% \text{ ч}; \quad V_K = (100 - 82,4) / 24,5 = 0,72 \% \text{ ч}, \quad (2)$$

где  $X_H$  и  $X_K$  – средние значения масс рыбы в процентах (опытные образцы) в начале и конце процесса сушки, соответственно;  $Y_H$  и  $Y_K$  – средние значения масс рыбы в процентах (контрольные образцы) в начале и в конце процесса сушки, соответственно;  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – продолжительность сушки, ч.

Превышение скорости сушки  $V_0$  с применением ЭСП по сравнению со скоростью сушки без использования ЭСП в процентах, определяли по формуле:

$$W = V_0 / V_K; \quad W = 0,84 / 0,72 = 1,17 \text{ или на } 17 \% . \quad (3)$$

Аналогичные эксперименты были проведены на ставриде. Условия и параметры процесса сушки были идентичны предыдущим.

Изменения массы ставриды (средние из 5 определений) в процессе сушки представлены в виде кривых на рис. 16. Из этого рисунка видно, что скорость сушки рыбы с применением ЭСП выше, по сравнению со скоростью сушки рыбы без воздействия ЭСП.

Скорость сушки ставриды в опытном ( $V_0$ ) и контрольном ( $V_K$ ) и превышение  $W$  в экспериментах определяли по аналогичным формулам (1-3):

$$V_0 = (100 - 85,0) / 9 = 1,67 \% \text{ ч}; \quad V_K = (100 - 86,5) / 9 = 1,49 \% \text{ ч}; \quad W = 1,67 / 1,49 = 1,12.$$

На основании результатов выполненных экспериментов на ставриде показано, что использование ЭСП способствует ускорению сушки рыбы в 1,12 раза или на 12 % больше, по сравнению со скоростью сушки без применения ЭСП.

Таким образом, по результатам проведенных исследований по сушке скумбрии и ставриды установлено, что процесс извлечения воды из рыбы в ЭСПВН ускоряется на 12-17 % (в зависимости от вида рыбы) по сравнению с обычными условиями сушки.

Следовательно, в последующих исследованиях представлялось целесообразным установить возможность ускорения этого же процесса при одновременном применении ЭСПВН для осаждения копильного препарата.

### 3. Интенсификация обезвоживания рыбы в процессе холодного бездымного копчения с применением ЭСПВН

Также, как и в предыдущих опытах, полуфабрикат (ставрида и скумбрия) подбирался из рыбы, близкой по упитанности и примерно одного размерного ряда.

Условия эксперимента на начальном этапе при обработке неионизированным воздухом были аналогичны изложенным выше. Далее в межэлектродное пространство под углом 10-15° к плоскости вертикального движения рыбы (ветви "в") из пневмоакустических форсунок в течение 30-60 с подавали мелкодиспергированный копильный препарат. Распыленные частицы препарата приобретали в межэлектродном пространстве отрицательный заряд, после чего по силовым линиям поля устремлялись к заземленной рыбе и на ее поверхности осаждались тонким равномерным слоем. Слой копильного препарата толщиной 0,1-0,5 мм удерживается на ней слабыми адгезионными силами. Далее рыбу с нанесенным препаратом перемещали в зону теплого воздуха с температурой 20-30 °С (ветвь "г", рис. 1), где основная масса препарата успевала "закрепиться" на поверхности рыбы, частично проникая под кожу и в подкожный слой. Далее рыба обрабатывалась ионизированным (ветвь "д") и неионизированным воздухом (ветви "е", "ж", "з", "а" и "б"). Затем рыбу вновь обрабатывали мелкодиспергированным копильным препаратом в электростатическом поле с последующей сушкой по указанному выше режиму; циклы обработки повторяли 1-3 раза в зависимости от вида, размеров, жирности рыбы и далее проводили сушку по режиму, указанному в предыдущем эксперименте по обезвоживанию рыбы, до готовности продукта. В контрольном эксперименте ЭСПВН ни для осаждения препарата, ни для сушки рыбы не использовали.

Обработку рыбы в опытных экспериментах проводили при двух величинах напряженности ЭСПВН: 2,4 кВ/см и 3,5 кВ/см.

Полученные данные по изменению массы ставриды в опытных и контрольных партиях представлены на рис. 4.

Математическую обработку данных проводили аналогично представленной в предыдущем подразделе, т.е. определяли средние значения масс образцов в процентах, оценки дисперсии  $S_{IX}$  и  $S_{IV}$ , рассчитывали значения G-критерия Кохрена и сравнивали их с табличными значениями, данные приведены в табл. 3 и 4.

Расчетные значения G-критерия Кохрена (табл. 3 и 4) меньше табличного значения при вероятности, равной 95 %, количестве опытов, равном 11, и числе степеней свободы, равном 4, что свидетельствует о достоверности полученных данных.

Кривые обезвоживания рыбы, представленные на рис. 4, указывают на явные преимущества ЭСП с повышением напряженности поля. Скорость обезвоживания ставриды при напряженности ЭСП 2,4 кВ/см определяли по известным формулам (1) и (2).

$$V_{(2,4)} = (100 - 78) / 23 = 0,956 \% \text{ ч}; \quad V_{(K1)} = (100 - 80,3) / 23 = 0,875 \% \text{ ч},$$

где  $V_{(2,4)}$  – скорость извлечения воды из рыбы в опытном эксперименте (напряженность ЭСП = 2,4 кВ/см);  $V_{(K1)}$  – то же, но без использования ЭСП.

Эффективность процесса обезвоживания ставриды  $W_{(2,4)}$  при использовании ЭСП рассчитывали по формуле (3):

$$W_{(2,4)} = V_{(2,4)} / V_{(K1)}; \quad W_{(2,4)} = 0,956 / 0,875 = 1,117 \text{ или } 11,7 \%.$$

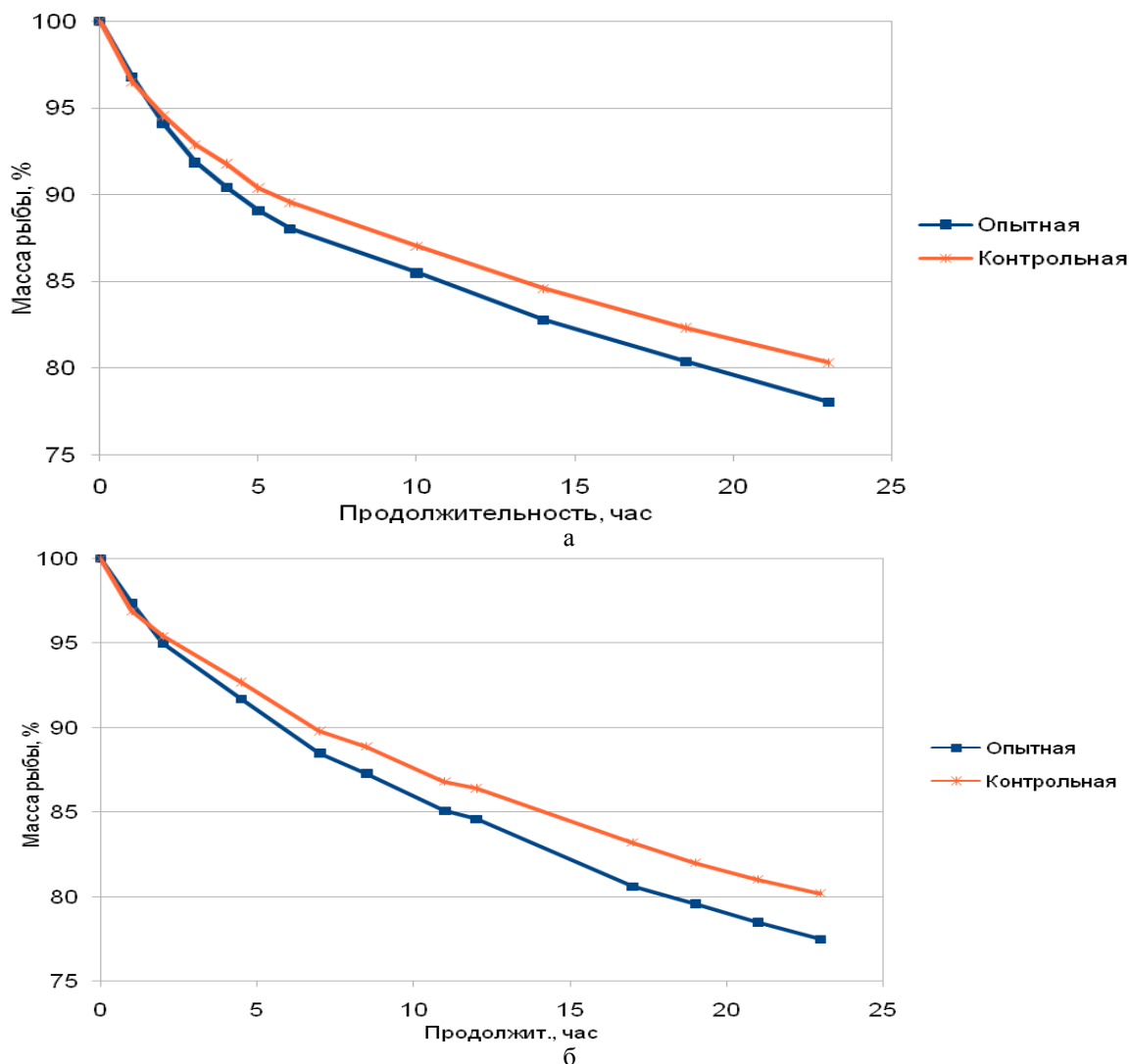


Рис. 4. Изменение массы ставриды в процессе копчения. Напряженность ЭСП = 2,4 кВ/см (а); ЭСП = 3,5 кВ/см (б). 1 – опытные образцы; 2 – контрольные образцы

Аналогичные расчёты проводили и по данным, полученным при обезвоживании рыбы с использованием ЭСП напряженностью 3,5 кВ/см:

$$V_{(3,5)} = (100 - 77,5) / 23 = 0,978 \% \text{ ч}; \quad V_{(K2)} = (100 - 80,2) / 23 = 0,861 \% \text{ ч};$$

$$W_{(3,5)} = V_{(3,5)} / V_{(K2)}; \quad W_{(3,5)} = 0,978 / 0,861 = 1,135 \text{ или } 13,5 \%$$

Таким образом, основываясь на результатах экспериментов по сушке ставриды, обработанной копильным препаратом, можно считать установленным, что применение ЭСП приводит к заметной интенсификации обезвоживания рыбы подобного вида и химического состава.

Такого рода интенсификация имеет место и при повышении напряженности электростатического поля. Так, при напряженности ЭСП, равной 2,4 кВ/см, обезвоживание опытных образцов ставриды составило 11,7 % по сравнению с контрольными, а при 3,5 кВ/см оно составило 13,6 %.

Аналогичные эксперименты по ускорению процесса обезвоживания были проведены на скумбрии атлантической обезглавленной.

Условия и параметры процесса этих экспериментов были идентичными предыдущим, за исключением продолжительности процесса, составившего в последнем случае 16 часов. Результаты экспериментов представлены на рис. 5 и 6.

Таблица 3. Данные математической обработки результатов экспериментов по холодному копчению ставриды (напряженность ЭСПВН 2,4 кВ/см)

Опытные образцы				Контрольные образцы					
Интервал отбора проб, час	X масса тушек, %	$S^2_{ix}$ Оценка дисперсности	$G_p$ Значения критерия Кохрена <u>расчетное</u> табличное	Интервал отбора проб, час	Y масса тушек, %	$S^2_{iy}$ Оценка дисперсности	$G_p$ Значения критерия Кохрена <u>расчетное</u> табличное		
0	100	0	<u>0,3274</u> 0,3311	0	100	0	<u>0,2103</u> 0,3311		
1	96,8	0,05		1	96,5	0,0425			
2	94,6	0,0225		2	94,5	0,2300			
3	92,8	0,05		3	92,9	0,9675			
4	91,5	0,1225		4	91,8	1,2125			
5	89,8	0,2125		5	90,4	2,0025			
6	88,8	0,3425		6	89,6	2,4600			
10	85,3	1,3550		10	87,0	1,8550			
14	83,5	2,1750		14	84,6	4,2000			
18,5	80,4	3,2493		18,5	82,3	4,1050			
23	78,0	3,6850		23	80,3	2,9000			
$\sum S^2_{ix} = 111,2544$				$\sum S^2_{iy} = 19,975$					

Таблица 4. Данные математической обработки результатов экспериментов по холодному копчению ставриды (напряженность ЭСПВН 3,5 кВ/см)

Опытные образцы				Контрольные образцы			
Интервал отбора проб, час	X масса тушек, %	$S^2_{ix}$ Оценка дисперсности	$G_p$ Значения критерия Кохрена <u>расчетное</u> табличное	Интервал отбора проб, час	Y масса тушек, %	$S^2_{iy}$ Оценка дисперсности	$G_p$ Значения критерия Кохрена <u>расчетное</u> табличное
0	100	0	<u>0,1791</u> 0,3096	0	100	0	<u>0,1316</u> 0,3096
1	97,4	0,2700		1	96,9	0,1000	
2	95,0	0,6050		2	94,8	0,3000	
4,5	91,7	0,3000		4,5	92,7	2,9950	
7	88,5	1,8700		7	89,9	2,5750	
8,5	87,3	2,665		8,5	88,9	1,5400	
11	85,6	2,4000		11	86,8	3,1750	
12	84,6	2,9250		12	86,4	2,8550	
17	80,6	1,9650		17	83,2	2,2350	
19	79,6	1,1775		19	82,0	1,9350	
21	78,5	0,9125		21	81,0	2,1900	
23	77,5	1,2450		23	80,2	2,8650	
$\sum S^2_{ix} = 16,3350$				$\sum S^2_{iy} = 22,765$			

Как видно из рисунков, отрыв кривых, характеризующих изменения массы опытных и контрольных образцов скумбрии, всё более увеличивается с возрастанием продолжительности процесса копчения. Выше упоминалось, что уменьшение массы рыбы в настоящей работе условно, с некоторым допущением, принимается за уменьшение содержания влаги, т.е. обезвоживание.

С учётом изложенного выше и принимая во внимание результаты эксперимента, суммированные графически на рис. 5 и 6, можно и по отношению к другому виду рыбы – скумбрии – заключить, что использование ЭСП ускоряет процесс её подсушивания.

Скорости  $V_{(2,4)}$ ,  $V_{(3,5)}$ ,  $V_{(K1)}$  и  $V_{(K2)}$  обезвоживания скумбрии при напряженности ЭСП 2,4 кВ/см и 3,5 кВ/см и в контрольных экспериментах, а также эффективность обезвоживания  $W_{(2,4)}$  и  $W_{(3,5)}$  определяли аналогично предыдущим расчётам.

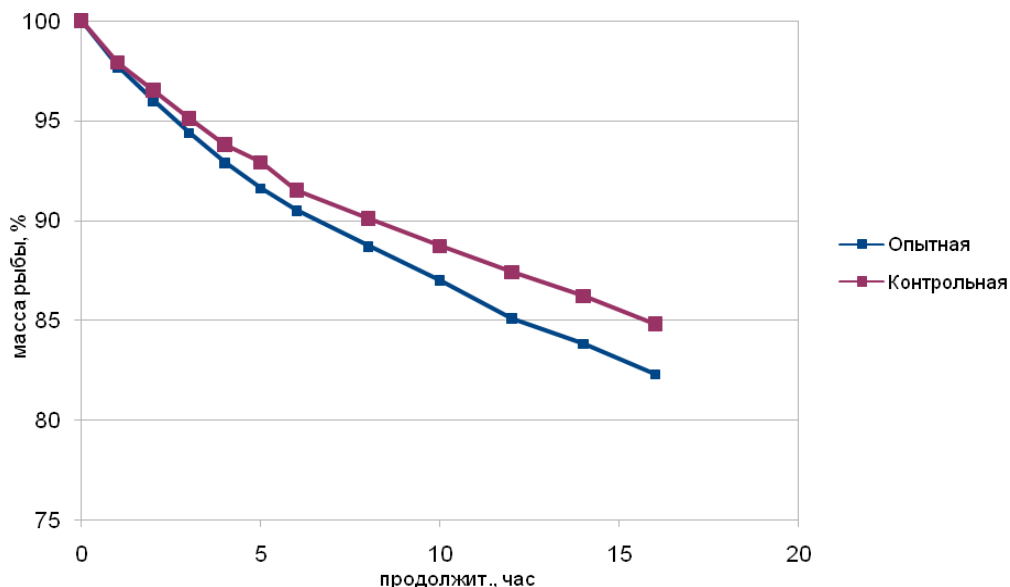


Рис. 5. Изменение массы скумбрии в процессе холодного бездымного электрокопчения (напряженность ЭСП = 2,4 кВ/см): 1 – опытные образцы; 2 – контрольные образцы

$$V_{(2,4)} = (100 - 82,3) / 16 = 1,106 \% \text{ ч};$$

$$W_{(2,4)} = V_{(2,4)} / V_{(K1)};$$

$$V_{(3,5)} = (100 - 81,4) / 16 = 1,162 \% \text{ ч};$$

$$W_{(3,5)} = V_{(3,5)} / V_{(K2)};$$

$$V_{(K1)} = (100 - 84,8) / 16 = 0,95 \% \text{ ч};$$

$$W_{(2,4)} = 1,106 / 0,95 = 1,164 \text{ или на } 16,4 \%;$$

$$V_{(K2)} = (100 - 84,5) / 16 = 0,969 \% \text{ ч};$$

$$W_{(3,5)} = 1,162 / 0,969 = 1,199 \text{ или } 19,9 \%.$$

Таким образом, и применительно к выработке копчёной продукции из скумбрии атлантической, доказана целесообразность использования ЭСПВН в процессе холодного копчения с применением копильного препарата.

Нельзя в то же время не подчеркнуть, что повышение напряженности ЭСП более 3,5 кВ/см (что соответствует межэлектродному расстоянию, равному 170 мм, и напряжению порядка 60 кВ) является нецелесообразным, поскольку при раскачивании тушек рыбы на прутках при движении цепного конвейера возможно возникновение "порога критической напряженности", и как следствие этого – пробоя.

Неоправданно также повышение напряженности ЭСП при одновременном увеличении межэлектродного расстояния, и за счёт, соответственно, увеличения напряженности на электродах, так как в этом случае источник высокого напряжения будет работать на пределе своей мощности. Кроме того, уменьшится полезный объем копильной установки, что, в конечном итоге, негативно отразится на её экономической эффективности.

Таблица 5. Сравнительные данные по обезвоживанию опытных и контрольных партий рыбы

Виды рыб	Партии	Продолжительность процесса	Масса рыбы, кг			Критерий Стьюдента	
			Исходной	Копчёной	Уменьшение в %	Расчетный	Табличный
Ставрида океаническая	1 оп	23	24,8	19,3	77,8	0,576	4,30
	2 оп	23	22,4	17,4	77,7	1,15	
	3 оп	23	25,7	20,0	77,8	0,576	
	Контр	23	23,5	18,9	80,4	–	
Скумбрия атлантическая	1 оп	16	33,5	27,2	81,2	0	4,30
	2 оп	16	31,0	25,2	81,3	1,01	
	3 оп	16	34,4	27,9	81,1	0,99	
	Контр	16	31,9	26,9	84,3	–	



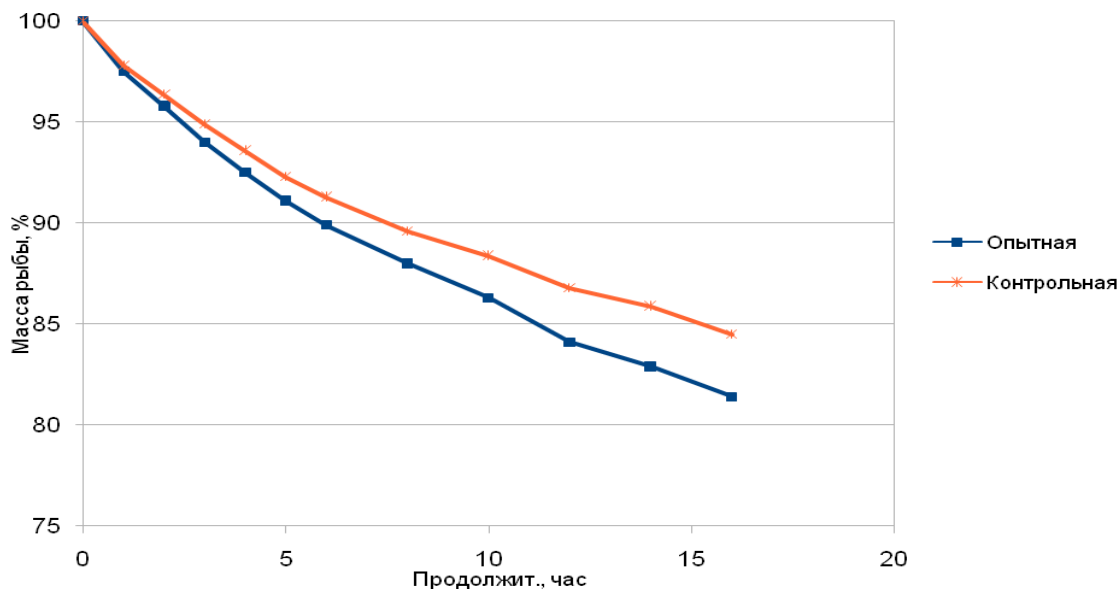


Рис. 6. Изменение массы рыбы (скумбрии) в процессе холодного бездымного электрокопчения (напряженность ЭСП = 3,5 кВ/см): 1 – опытные образцы; 2 – контрольные образцы

Как видно из табл. 5 и, в частности, из сопоставления расчётных данных критерия Стьюдента, которые ниже табличных, результаты сравнительных экспериментов подтверждают достоверность эффективности ЭСП высокого напряжения при выработке рыбы холодного копчения с применением копильного препарата.

#### 4. Выводы

1. Экспериментами установлено, что при обработке воздушной средой процесс извлечения воды из рыбы (скумбрии, ставриды) при воздействии ионизированного воздуха ускоряется на 12-17 % (в зависимости от вида рыбы) по сравнению с обычными условиями сушки.
2. Выявлена целесообразность использования ЭСПВН в технологии холодного бездымного копчения и для осаждения копильного препарата и для интенсификации обезвоживания рыбы.

#### Литература

- Бабакин Б.С.** О возможности использования электротехнологии в отраслях АПК. *Сб. тезисов докладов шестой Всесоюзной науч.-техн. конф. "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья"*, М., МИБП, с.154-157, 1986.
- Решетников М.Т.** Планирование эксперимента и статистическая обработка данных. Учебное пособие. *Томск, Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники*, 231 с., 2002.
- Сборник технологических инструкций по обработке рыбы. В 2 т. *Под ред. А.Н. Белогурова, М.В. Васильевой. М., Колос*, т.2, с.220-237, 1994.