

## Изучение влияния различных параметров на равномерность просаливания слоя мелкой рыбы и филе

В.В. Димова<sup>1</sup>, А.М. Ершов<sup>2</sup>, В.А. Гроховский<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО "Арктиксервис"

<sup>2</sup> Технологический факультет МГТУ, кафедра технологии пищевых производств

**Аннотация.** В работе изложены результаты исследований посола рыбы в слое. Изучено изменение плотности тузлука по толщине слоя рыбы при посоле мойвы и филе скумбрии. Найдены зависимости равномерности просаливания образцов рыбы по толщине просаливающегося слоя от температуры, плотности тузлука и плотности орошения рыбы. Предложен метод расчета необходимой плотности орошения для равномерного (в заданных пределах) просаливания слоя рыбы выбранной толщины. Определены близкие к оптимальным условия посола слоя мойвы толщиной 170 мм и филе скумбрии толщиной 150 мм, позволяющие получить полуфабрикат с содержанием соли 4-5 %.

**Abstract.** The paper considers the results of research of fish brining in the layer. The change of brine density according to the fish layer thickness at brining capelin and mackerel fillet has been studied. The dependence of uniformity of fish specimens' brining according to the salting layer thickness on temperature, brine and irrigation density has been found. The suboptimum conditions of salting of capelin layer (170 mm) and mackerel fillet (150 mm) have been determined. These conditions allow receiving the semi-finished product with the salt content equal to 4-5 %.

### 1. Введение

Получение однородной по солености рыбы всегда являлось сложным вопросом при производстве продукции, связанной с процессом посола. Одновременное влияние многих факторов (температура, плотность тузлука, способ посола, размер и химический состав сырья и пр.), конструктивные недостатки посольного оборудования приводят к тому, что содержание соли в отдельных образцах партии соленой рыбы может существенно колебаться. Особенно принципиально это при получении слабосоленой продукции.

Соленый полуфабрикат для копчения мелкой рыбы и филе в основном получают при посоле в тузлуке в различных механизированных посольных устройствах, где посол рыбы осуществляется в слое различной толщины.

Анализ работы механизированных посольных ванн показывает, что наблюдается опреснение верхнего слоя тузлука (Ершов, Димова, 1996). Наиболее эффективными являются посольные ванны, в конструкции которых предусмотрены циркуляция тузлука и орошение верхних слоев рыбы.

Исследования были направлены на определение близких к оптимальным режимов для получения соленого полуфабриката с содержанием соли в пределах 4-5 % в механизированных ваннах с циркуляцией тузлука и орошением продукта.

Предварительно изучалось влияние температуры и плотности тузлука на однородность просаливания рыбы в слое. Далее экспериментально-аналитическим методом определяли величину плотности орошения просаливающейся рыбы для слоев различной толщины, при которой можно получить однородную по солености рыбу. Исследования проводили с мойвой и филе скумбрии.

### 2. Влияние температуры, плотности тузлука и плотности орошения на равномерность просаливания слоя рыбы

Оптимальное содержание соли в соленом полуфабрикате для приготовления копченой деликатесной продукции – 4÷5 %.

Первоначально была поставлена задача определить толщину слоя при посоле в неподвижном тузлуке без циркуляции и орошения, которая позволит получить достаточно однородный по солености полуфабрикат.

Расчетным путем определяли минимальную толщину слоя, при которой разброс солености был бы не более 1 %. Для расчетов использовали экспериментальные данные об изменении плотности тузлука по толщине просаливающихся слоев для мойвы и филе скумбрии (рис. 1) и выражение Ершова-Глазунова-Димовой (Димова, 1996):

$$S_{(0,\tau)}^H = S_{\text{сст}} + C_0 \{1 - \exp[-2,4706((D/l^2)\tau - 0,0843)]\}, \quad (1)$$

где  $S_{\text{сст}}$  – естественная соленость рыбы;  $S_{(0,\tau)}^H$  – соленость в центре рыбы, отнесенная к начальной массе рыбы, %;  $C_0 = aC_p$  – концентрация тузлука в пограничном слое у поверхности рыбы, % ( $a$  – полуэмпирический коэффициент,  $C_p$  – концентрация соли в тузлуке, %);  $D$  – коэффициент диффузии соли,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $l$  – полутолщина рыбы,  $\text{м}$ ;  $\tau$  – продолжительность посола,  $\text{с}$ .

Из анализа полученных материалов можно заключить, что при достижении солености в центре рыбы от 3.6 до 4.0 % средняя соленость образцов составляет от 4 до 5 %. Расчеты показывают, что заданных значений солености 3.6 ÷ 4.0 % мойва может достичь через 60 мин посола при толщине слоя 120 мм, филе скумбрии – через 70 мин посола в слое толщиной 100 мм. При увеличении толщины слоя для каждого вида сырья получаем неудовлетворительный разброс солености образцов рыбы по толщине слоя. Аналитические расчеты были подвергнуты экспериментальной проверке, которая показала хорошее совпадение экспериментальных и расчетных значений. Проведены эксперименты по посолу мойвы и филе скумбрии в слое толщиной соответственно 120 мм и 100 мм при плотности тузлука  $1.20 \text{ г/см}^3$  и температуре  $15^\circ\text{C}$ . Полученные расчетные и экспериментальные кривые  $S_{ii} = f(x)$  показаны на рис. 2.

Затем исследовали влияние температуры и плотности тузлука на однородность просаливания рыбы в слое. Изучение влияния температуры проводилось при 10, 15, 20 и  $25^\circ\text{C}$ . Плотность тузлука в данных экспериментах была  $1.20 \text{ г/см}^3$ . Влияние плотности тузлука исследовали при температуре посола  $15^\circ\text{C}$  и плотности 1.14, 1.17 и  $1.20 \text{ г/см}^3$ . Толщина просаливающегося слоя составила 150 мм для филе скумбрии и 170 мм для мойвы. Эти толщины были выбраны, исходя из анализа расчетных данных и с учетом конструктивных особенностей большинства механизированных посольных ванн. При всех посолах соотношение рыба:тузлук составило 1:4 (Терещенко, 1973). Эксперименты проводили в неподвижном тузлуке без орошения и перемешивания. Экспериментальные кривые изображены на рис. 3 и 4. По анализу данных эксперимента построен рис. 5, который показывает влияние температуры и плотности тузлука на равномерность просаливания слоя рыбы.

Можно сделать вывод, что с увеличением температуры при одинаковой плотности тузлука, как и следовало ожидать, скорость просаливания увеличивается – при том же времени посола достигается большая соленость. В то же время с повышением температуры тузлука полуфабрикат получается менее однородным по солености. Скорее всего, это происходит за счет высокой скорости просаливания рыбы сверху и внизу слоя, так как температура и плотность тузлука велики, и рыба полностью омывается тузлуком, а в середине слоя, где у рыбы "худший контакт" с тузлуком за счет ее некоторой спрессованности, скорость просаливания оказывается гораздо меньше.

Рис. 2. Изменение расчетной и экспериментальной солености мойвы в центре образцов по толщине слоя.

Толщина слоя при посоле 120 мм

Изменение расчетной солености мойвы:

- 1 – через 30 мин посола,
- 2 – через 40 мин посола,
- 3 – через 50 мин посола,
- 4 – через 60 мин посола;
- 4э – по данным эксперимента через 60 мин

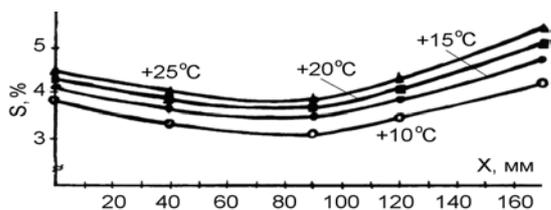


Рис. 3. Изменение средней солености образцов мойвы по толщине слоя при посоле в тузлуке с различной температурой без орошения ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3$ )

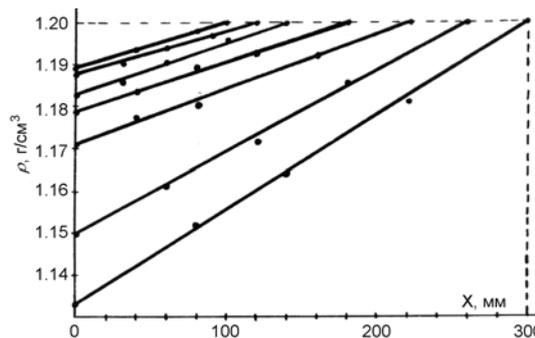


Рис. 1. Изменение плотности тузлука по толщине слоя мойвы при её посоле в слоях различной толщины ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3$ ;  $t = 15^\circ\text{C}$ ;  $\tau = 50 \text{ мин}$ )

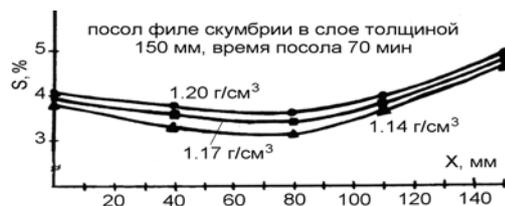
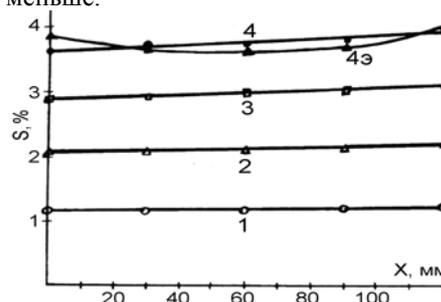
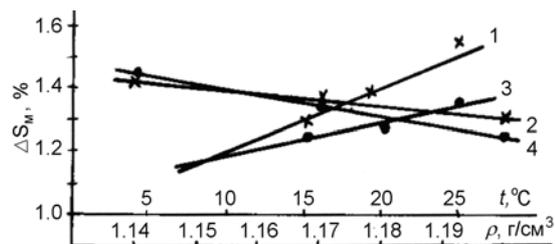


Рис. 4. Изменение средней солености образцов филе скумбрии по толщине слоя при посоле в тузлуке с различной плотностью без орошения ( $t = 15^\circ\text{C}$ )

Рис. 5. Зависимость максимального разброса солености (средней для образца) по толщине просаливающегося слоя от различных параметров посола:

$\Delta S_m = f(t)$  – для мойвы – 1; для филе скумбрии – 3,  
 $\Delta S_m = f(\rho)$  – для мойвы – 2; для филе скумбрии – 4.



Увеличение неоднородности просаливания по толщине слоя с повышением температуры характерно как для мойвы, так и для филе скумбрии.

Увеличение плотности тузлука при одинаковой температуре уменьшает разброс значений солености в готовом продукте. Выявленная закономерность наблюдается как при посоле мойвы, так и при посоле филе скумбрии.

Но, как показали эксперименты, филе скумбрии спрессовывается при посоле в слое, доступ тузлука внутрь слоя затрудняется, поэтому при одной и той же толщине слоя разброс солености получаемого филе выше, чем мойвы.

Таким образом, увеличение плотности тузлука и снижение температуры посола позволяет получить рыбу более однородную по содержанию соли (рис. 5) (Поротиков, 1986). Поэтому для экспериментов по определению влияния плотности орошения на равномерность просаливания рыбы в слое были выбраны плотность тузлука 1.20 г/см<sup>3</sup> и температура 15°C.

Разброс солености при посоле мойвы (толщина слоя 170 мм, время посола 60 мин) в тузлуке с указанными характеристиками составил 1.30 % (от 3.48 до 4.78 %), разброс солености филе скумбрии (толщина слоя 150 мм, время посола 70 мин) составил 1.24 %, (от 3.61 до 4.85 %). В обоих случаях разброс солености слишком велик, что ведет к ухудшению качества получаемой готовой продукции. Таким образом, без применения орошения трудно получить однородный по солености полуфабрикат.

Последующие эксперименты были направлены на определение величины плотности орошения, при которой можно получить более однородный полуфабрикат с содержанием соли в пределах 4-5 %. Экспериментальная установка позволяла изменять плотность орошения от  $5.67 \cdot 10^{-5}$  до  $7.8 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup>. Плотности орошения менее  $1.72 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup> мало влияют на процесс просаливания рыбы в слое, поэтому эксперименты в основном проводили при плотности орошения  $2.67 \cdot 10^{-4}$  до  $4.2 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup>.

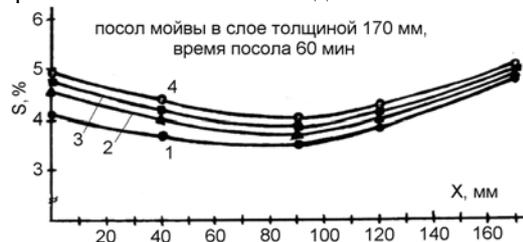
Результаты экспериментов по посолу мойвы в слое толщиной 170 мм при различной плотности орошения показаны на рис. 6.

Увеличение плотности орошения приводит к более равномерному просаливанию слоя рыбы. Но увеличивать плотность орошения можно лишь до определенного предела, чтобы не вызвать механического повреждения верхнего слоя рыбы и неоправданного увеличения энергетических затрат.

Проведенные эксперименты позволили установить, что для мойвы при толщине слоя 170 мм и времени посола 60 мин и филе скумбрии при толщине слоя 150 мм и времени посола 70 мин для плотности орошения  $4.2 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup> и более максимальный разброс содержания соли в мясе рыбы не превышал 1 %. После окончания посола мойва и филе скумбрии имели соленость от 4 до 5 %.

Рис. 6. Изменение средней солености образцов мойвы по толщине слоя при посоле в циркулирующем тузлуке при различной плотности орошения ( $\rho = 1.20$  г/см<sup>3</sup>,  $t = 15$  °C):

1 –  $4.2 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup>;                      3 –  $2.67 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup>;  
 2 –  $3.3 \cdot 10^{-4}$  (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup>;                      4 – без орошения



### 3. Метод расчета необходимой плотности орошения слоя рыбы заданной толщины для равномерного просаливания

Далее была поставлена задача определить оптимальные плотности орошения, при которых можно получить полуфабрикат с содержанием соли от 4 до 5 %, для просаливания слоев различной толщины.

Для этого определяли коэффициенты  $K_1$ ,  $K_2$  и  $k$ .

Коэффициент  $K_1$  учитывает отличие максимального (по толщине слоя) разброса солености в центре образцов, полученного расчетным путем от найденного экспериментально. На основе расчета и экспериментов были найдены поправочные коэффициенты  $K_1$  для обоих видов рыб:

$$K_1 = \Delta S_{cm}^3 / \Delta S_{cm}^p, \quad (2)$$

где  $\Delta S_{цм}^{\circ}$  – максимальный (по толщине слоя) разброс солености в центре рыбы, определенный из экспериментальных данных, %:

$$\Delta S_{цм}^{\circ} = \Delta S_{цм\max}^{\circ} - \Delta S_{цм\min}^{\circ}, \quad (3)$$

где  $\Delta S_{цм}^p$  – максимальный (по толщине слоя) разброс солености в центре рыбы, определенный из расчетных данных, %.

Для мойвы  $K_1 = 1.34$ , для филе скумбрии  $K_1 = 1.11$ .

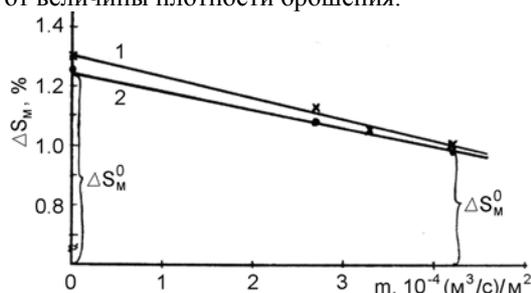
По экспериментальным данным построили зависимость максимального разброса средней солености образцов  $\Delta S_M$  по толщине слоя от величины плотности орошения  $m$  для мойвы (толщина слоя 170 мм, время посола 60 мин) и филе скумбрии (толщина слоя 150 мм, время посола 70 мин) (рис. 7). Определили коэффициенты  $K_2$  для мойвы и филе скумбрии, которые позволяют уточнять максимальный по толщине слоя разброс средней солености в зависимости от величины плотности орошения.

Рис. 7. Зависимость максимального разброса солености (средней для образца) по толщине просаливающегося слоя мойвы и филе скумбрии от плотности орошения тузлуком ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3, t = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ):

1 – для мойвы, 2 – для филе скумбрии.

x – эксперимент ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3, t = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ );

● – точки, полученные с помощью расчета



$K_2$  находят следующим образом:

$$K_2 = \Delta S_M^T / \Delta S_M^{\circ}, \quad (4)$$

где  $\Delta S_M^{\circ}$  – максимальная величина разброса средней солености при посоле без орошения и циркуляции в неподвижном тузлуке, %;  $\Delta S_M^T$  – максимальная величина разброса солености при посоле с определенной "текущей" плотностью орошения, %.

$K_2$  для мойвы и филе скумбрии соответственно равны 0.77 и 0.80.

Коэффициент  $k$  служил для пересчета максимального разброса солености в центре рыбы по толщине слоя  $\Delta S_{цм}^{py}$  на максимальный разброс средней солености рыбы по толщине слоя  $\Delta S_M^{\circ}$ :

$$\Delta S_M^{\circ} = k \Delta S_{цм}^{py}, \quad (5)$$

$$\Delta S_{цм}^{py} = K_1 \Delta S_{цм}^p. \quad (6)$$

Коэффициент  $k$  был определен из расчетов и экспериментов. Так, при разбросе солености в центре объектов посола 0.4 %, разброс средних значений солености составляет 1 %. Для мойвы и филе скумбрии  $k$  равен 2.5. Данный коэффициент является приближенным и действителен для мойвы и филе скумбрии только в интервале средней солености рыбы от 4 до 5 % (жирность мойвы и филе скумбрии соответственно 9.2 % и 13.7 %).

Далее, применив выражение (1) и графики (рис. 1), был рассчитан максимальный разброс солености в центре рыбы для каждой выбранной толщины слоя в неподвижном тузлуке без орошения (табл. 1). Используя коэффициенты  $K_1, K_2$  и  $k$ , были найдены зависимости  $\Delta S_M = f(m)$  максимального разброса солености от плотности орошения для слоев выбранной толщины (рис. 8).

Таблица 1. Максимальный разброс солености по толщине просаливающегося слоя мойвы и филе скумбрии в зависимости от величины плотности орошения, %

Толщина слоя X, мм	Мойва				Филе скумбрии			
	$K_1 = 1.34, k = 2.5, K_2 = 0.77$				$K_1 = 1.11, k = 2.5, K_2 = 0.80$			
	$\Delta S_{цм}^p$	$\Delta S_{цм}^{py}$	$\Delta S_M^{\circ}$	$\Delta S_M^{4.2}$	$\Delta S_{цм}^p$	$\Delta S_{цм}^{py}$	$\Delta S_M^{\circ}$	$\Delta S_M^{4.2}$
300	1.17	1.58	3.92	3.02	1.31	1.45	3.64	2.91
260	0.88	1.18	2.95	2.27	0.98	1.09	2.72	2.18
220	0.54	0.72	1.81	1.39	0.72	0.80	2.00	1.60
180	0.43	0.57	1.44	1.11	0.54	0.60	1.50	1.20
140	0.36	0.48	1.21	0.93	0.43	0.48	1.19	0.95
120	0.29	0.39	0.97	0.75	0.41	0.46	1.14	0.91
100	0.26	0.35	0.87	0.67	0.36	0.40	1.00	0.80

Примечание:  $\Delta S_M^{4.2}$  – максимальный разброс средней солености по толщине слоя рыбы при посоле с плотностью орошения  $4.2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3/\text{с)/м}^2$ ;  $\Delta S_M^{4.2} = K_2 \Delta S_M^{\circ}$ .

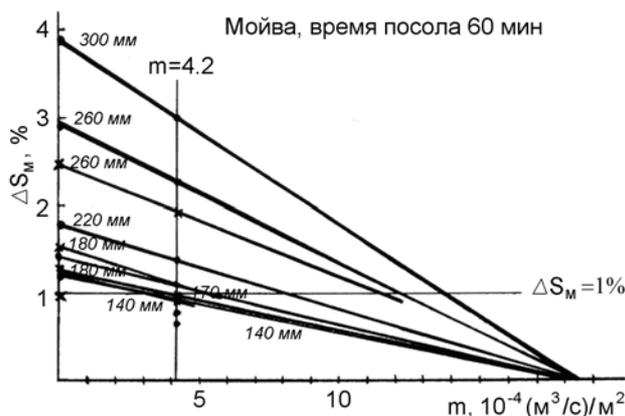


Рис. 8. Зависимость максимального разброса средней солености для слоев различной толщины от плотности орошения тузлуком;

x – эксперимент ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3$ ,  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ );  
● – точки, полученные с помощью расчета

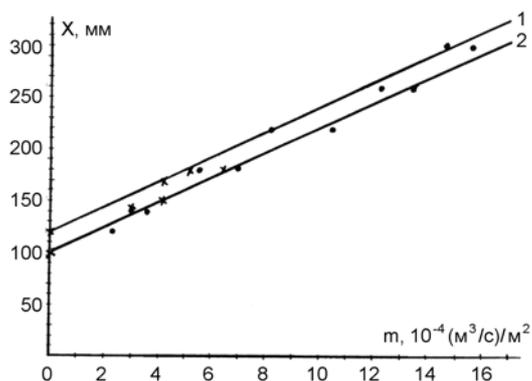


Рис. 9. Зависимость толщины просаливающегося слоя от плотности орошения тузлуком при заданном 1%-м максимальном разбросе солености получаемой рыбы:

1 – мойва (время посола 60 мин);  
2 – филе скумбрии (время посола 70 мин);

x – эксперимент ( $\rho = 1.20 \text{ г/см}^3$ ,  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ );  
● – точки, полученные с помощью расчета

Из рис. 8 видно, что чем выше плотность орошения, тем меньше разброс солености. Однако чем толще слой, тем большая плотность орошения должна быть применена, чтобы добиться той же однородности просаливания. Теоретически существуют такие плотности орошения, при которых при просаливании в слое может быть получена однородная по солености рыба, т.е. когда условия посола в слое из рыб в несколько рядов приближаются к условиям посола в тузлуке рыбы, разложенной в один ряд.

Используя полученные графики  $\Delta S_m = f(m)$  для слоев различной толщины (рис. 8) и задаваясь желаемым разбросом солености, можно для любой толщины слоя определить величину плотности орошения, которая позволит получить соленый продукт с заданным максимальным разбросом. Так, для максимального разброса солености 1 % построена зависимость толщины слоя от плотности орошения для мойвы и филе скумбрии (рис. 9).

С помощью построенных прямых (рис. 9) можно определять для любой толщины слоя мойвы и филе скумбрии необходимую плотность орошения, позволяющую при просаливании в слое получать полуфабрикат с содержанием соли в пределах от 4 до 5 % и разбросом солености не более 1 %.

Так как при расчетах, приведенных выше, принимались некоторые допущения и приближения, необходима экспериментальная проверка полученных зависимостей  $\Delta S_m = f(m)$  для различной толщины и  $X = f(m)$  при  $\Delta S_m = 1 \%$ . Для этого провели посолы мойвы и филе скумбрии в слоях толщиной 140, 180, 260 мм в неподвижном тузлуке без циркуляции и орошения и при плотности орошения  $4.2 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3/\text{с)/м}^2$ . Результаты, полученные экспериментальным и расчетным путем, довольно близки (рис. 8, 9). Это подтверждает правильность приведенной схемы расчетов.

Таким образом, используя предложенный экспериментально-аналитический метод при минимуме экспериментов с применением выражения Ершова-Глазунова-Димовой и рассчитав коэффициенты  $k$ ,  $K_1$  и  $K_2$ , можно определять для выбранной толщины просаливающегося слоя необходимую плотность орошения, позволяющую добиваться однородности просаливания в заданных пределах.

#### 4. Заключение

Установлено влияние на равномерность просаливания слоя мелкой рыбы и филе температуры, плотности тузлука и плотности орошения поверхности рыбы. Показана возможность применения полученных зависимостей для определения толщины слоя рыбы в тузлуке, при которой соленость продукта во всех срезах слоя должна быть равномерной, в пределах  $\pm 0.5 \%$ .

Предложен метод расчета необходимой плотности орошения для равномерного (в заданных пределах) просаливания слоя рыбы выбранной толщины.

Определены наилучшие условия: температура тузлука 15°C, плотность 1.20 г/см<sup>3</sup>, плотность орошения 4.2·10<sup>-4</sup> (м<sup>3</sup>/с)/м<sup>2</sup> – для посола мойвы в слое толщиной 170 мм, время посола 60 мин и филе скумбрии в слое толщиной 150 мм время посола 60 мин, позволяющие получить соленый полуфабрикат в заданных пределах содержания соли от 4 до 5 %.

### **Литература**

- Димова В.В.** Закономерности процесса диффузии соли в мясе рыбы при посоле в тузлуке. *Апатиты, Кольский научный центр РАН*, с.18, 1996.
- Ершов А.М., Димова В.В.** Определение основных закономерностей при посоле рыбы в слое. *Мурманск, Тез. 7-й науч.-техн. конф. МГТУ, МГТУ*, ч.1, с.110-113, 1996.
- Поротиков А.Г.** Разработка технологии интенсифицированного процесса холодного копчения разделанных рыб. *Калининград, Отчет о НИР АтланНИРО, тема 29-60, инф. № 5809091*, 107 с., 1986.
- Терещенко В.П.** Изучение особенностей законченного посола свежей и мороженой салаки. *Калининград, Тр. КТИРПХ*, вып.52, с.16-22, 1973.