

## Расчетный метод определения влажности на поверхности рыбы в процессах обезвоживания

М.А. Ершов<sup>1</sup>, А.М. Ершов<sup>2</sup>, О.А. Николаенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> МГТУ, служба технической защиты информации

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

**Аннотация.** В работе представлен расчетный метод нахождения влажности на поверхности рыбного филе со стороны кожи для процессов обезвоживания. Найдены зависимости изменения влажности на поверхности филе от среднеобъемной влажности рыбы. Для получения сведений о характере изменений среднеобъемной влаги в течение времени используется обобщенная кривая кинетики обезвоживания.

**Abstract.** The paper presents the method of estimation the humidity at the fish fillet surface from the skin side for further dehydration. The dependence of variations of humidity at the fillet surface on the average humidity of the whole fish has been plotted. The generalized dehydration curve has been used for getting the pattern of variations of the average moisture.

### 1. Введение

Для успешного управления процессами обезвоживания рыбы необходимо знать поле влагосодержания в любой момент времени. Для этого нужно знать не только диффузионные свойства обрабатываемого сырья, но и характер изменения влажности на границе продукта. Экспериментально можно найти кривую изменения поверхностной влаги для отдельно взятого образца, но процесс этот долгий и трудоемкий. Поэтому представляет интерес нахождение закономерностей изменений поверхностной влаги, позволяющих свести к минимуму экспериментальную часть. Получение зависимостей на основе массообменных процессов, происходящих между теплоносителем и продуктом, затруднено влиянием пограничного слоя вблизи поверхности объекта обезвоживания и сложностью экспериментальных работ. По нашему мнению, целесообразно вести поиск вышеуказанных закономерностей, используя кривую кинетики, т.к. в этом случае максимально учитываются все факторы, влияющие на процесс обезвоживания (Ершов, 1982; 1992).

### 2. Сущность метода

Были получены экспериментальные данные распределения влажности по слоям филе в зависимости от продолжительности обезвоживания для сардинеллы, сельди, скумбрии, ставриды, путассу и трески. Для определения влажности на границе филе экспериментальные значения обрабатывались с помощью сплайн-аппроксимации. Далее строились графики изменения содержания влаги по слоям филе в процессе обезвоживания в зависимости от среднеобъемной влажности. На рис. 1 представлены кривые изменения влажности по слоям путассу в зависимости от среднеобъемной влаги.

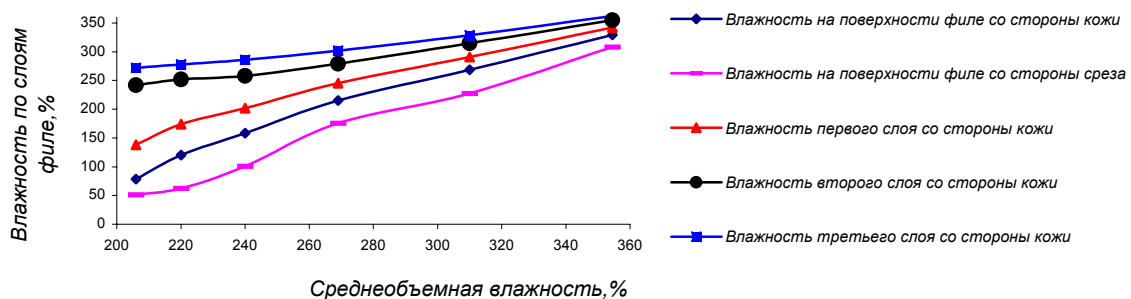


Рис. 1. Изменение влаги по слоям филе путассу в процессе обезвоживания в зависимости от среднеобъемной влажности

Графики изменения влаги по слоям для сардинеллы, сельди, скумбрии, ставриды и трески подобны кривым, представленным на рис. 1. Был сделан вывод, что зависимость изменения влажности по слоям от среднеобъемной влажности рыбы в процессах обезвоживания близка к линейной. Из графиков находили угловые коэффициенты  $k$  прямых, характеризующих изменение влажности на поверхности филе со стороны кожи в зависимости от среднеобъемной влажности. Значения коэффициентов  $k$  для отдельных объектов обезвоживания представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения угловых коэффициентов прямых, характеризующих изменение влажности на поверхности филе со стороны кожи в процессе обезвоживания

Объект обезвоживания	Начальная влажность рыбы на сухую массу $\omega_0^c, \%$	Угловой коэффициент, $k$
Скумбрия	200	1,22
Сардинелла	211	1,31
Сельдь	233	1,04
Ставрида	275	1,56
Ставрида	297	1,29
Путассу	355	1,69
Треска	398	1,62

Коэффициенты  $k$  для поверхности со стороны кожи в зависимости от начальной влажности рыбы на сухую массу  $\omega_0^c$  можно найти по формуле:

$$k = 0,003 \cdot \omega_0^c + 0,487. \quad (1)$$

Уравнение (1) применимо для рыб с начальной влажностью на сухую массу от 200 % до 398 %, с удельной поверхностью от 0,15 кг/м<sup>2</sup> до 0,28 кг/м<sup>2</sup>. Отклонения расчетных угловых коэффициентов для поверхности филе со стороны кожи от экспериментальных не превысили 17 %. Нелинейность распределения влаги по толщине рыбы в начальный момент сушки учитывали через коэффициент  $m$ , который равен отношению начальной влажности на поверхности филе со стороны кожи  $\omega_{0п}^c$  к начальной среднеобъемной влажности филе  $\omega_0^c$ :

$$m = \omega_{0п}^c / \omega_0^c. \quad (2)$$

Значения коэффициента  $m$  для филе с различным химическим составом представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения коэффициента  $m$ , характеризующего нелинейность распределения влаги по толщине филе некоторых видов рыбы

Объект обезвоживания	Начальная влажность рыбы на сухую массу $\omega_0^c, \%$	Начальная влажность на поверхности со стороны кожи $\omega_{0п}^c, \%$	Коэффициент $m$
Скумбрия	117	61	0,52
Скумбрия	200	125	0,63
Сардинелла	211	166	0,79
Ставрида	275	265	0,97
Ставрида	297	250	0,84
Путассу	355	328	0,93
Треска	398	392	0,99

Для определения коэффициента  $m$  предложена следующая эмпирическая зависимость:

$$m = 0,0017 \cdot \omega_0^c + 0,3212. \quad (3)$$

Отклонение расчетных коэффициентов от экспериментальных не превысило 15 %. Формула для определения влажности на поверхности филе  $\omega_n^f$  на сухую массу (%) со стороны кожи с учетом коэффициента  $m$  будет выглядеть следующим образом:

$$\omega_n^f = (\omega^f \cdot k + b)m, \quad (4)$$

где  $\omega^f$  – текущая влажность рыбы на сухую массу, %;  $b$  – коэффициент уравнения прямой.

В начальный момент времени обезвоживания значение текущей влажности рыбы на сухую массу  $\omega^c$  принимается равным начальной влажности рыбы  $\omega_0^c$ .

Значение коэффициента  $b$  определяли по формуле:

$$b = \omega_0^c (1 - k). \quad (5)$$

Значения текущих влажностей на сухую массу  $\omega^c$  (%) в процессе обезвоживания находили, используя формулу (6), которая применима для построения расчетных кривых кинетики обезвоживания (Ершов и др., 2000):

$$\tau = (\tau_{k1} \tau_{k2} \exp(6,84 - 6,30(\omega^c / \omega_{k1}) (\omega^c / \omega_{k2})))^{0,5}, \quad (6)$$

где  $\tau$  – продолжительность обезвоживания, соответствующая текущей влажности, с;  $\omega^c$  – текущая влажность рыбы на сухую массу;  $\omega_{k1}$ ,  $\omega_{k2}$  – влажность, соответствующая первой и второй критическим точкам, %;  $\tau_{k1}$ ,  $\tau_{k2}$  – продолжительность обезвоживания, соответствующая влажностям  $\omega_{k1}$ ,  $\omega_{k2}$ , с.

На рис. 2 представлены графики изменений поверхностной влаги в зависимости от времени обезвоживания для филе ставриды, полученные экспериментальным и расчетным путем. Расчетные кривые изменения влаги на поверхности филе ставриды со стороны кожи находились по формулам (5) и (6). Отклонения расчетных значений влажности на поверхности от экспериментальных для ставриды не превысили 7 %.

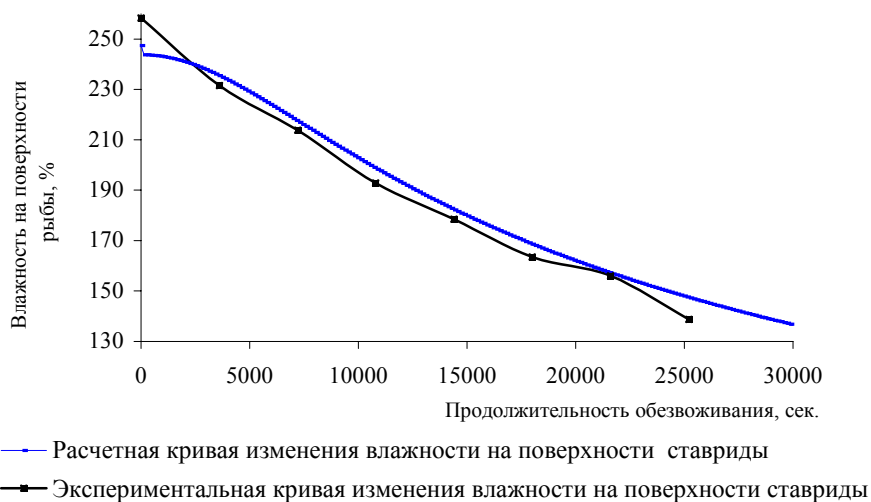


Рис. 2. Изменения поверхностной влаги для филе ставриды в зависимости от времени обезвоживания

### 3. Заключение

Предложенный метод позволяет строить кривые изменения влажности на поверхности объекта в зависимости от времени обезвоживания, не проводя при этом экспериментальных работ. Зависимость влажности на поверхности от времени обезвоживания можно использовать в расчетах с применением численных методов как условия на границе раздела двух фаз. Это дает возможность, зная диффузионные свойства обрабатываемого сырья, определять поле влагосодержания в рыбе при обезвоживании в любой момент времени.

### Литература

- Ершов А.М.** Исследование тепло- и массообмена при обжаривании рыбы в растительном масле и с использованием инфракрасного излучения. *Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. М., МТИПП, 205 с., 1982.*
- Ершов А.М.** Развитие и совершенствование процессов холодного копчения на основе интенсификации массопереноса влаги и коптильных компонентов. *Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. Мурманск, МГАРФ, 158 с., 1992.*
- Ершов А.М., Ершов М.А., Гроховский В.А.** Совершенствование обобщенной кривой кинетики обезвоживания. *Материалы научно-технической конференции "Техника и технология пищевых производств на рубеже 21 века". Мурманск, с.39-41, 2000.*