

Расчет процессов релаксации при обезвоживании рыбы

Михаил А. Ершов,¹ ershovma@mstu.edu.ru
Александр М. Ершов,¹ ershovma@mstu.edu.ru
Владимир А. Гроховский,¹ grohovskiyva@mstu.edu.ru

¹ кафедра технологий пищевых производств, Мурманск. гос. техн. ун-т, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия

Реферат. В данной работе разработаны методы изучения релаксационных процессов, применяемых при обезвоживании рыбы, с учетом влияния химического состава, геометрических размеров объектов обработки и режимных параметров процессов сушки. Использование численных методов расчета на основе решений дифференциального уравнения второго порядка для пластины с граничными условиями третьего рода позволяет с достаточной для инженерной практики точностью моделировать различные условия ведения процесса обезвоживания с периодическим восстановлением влагопроводных свойств объектов сушки. Предлагаемые расчетные методы применимы для процессов обезвоживания, состоящих из непрерывного начального периода и последующих комбинированных периодов сушки рыбы и релаксации поверхностного слоя объекта обезвоживания. Необходимость применения релаксации обусловлена тем, что по мере обезвоживания поверхностные слои, потерявшие часть влаги, уплотняются. Уменьшаются размеры капилляров для прохода влаги через поверхностные слои. Вблизи поверхности появляется зона, свободная от подавляющей массы влаги, а, следовательно, имеющая низкие диффузионные свойства. В результате замедляется процесс обезвоживания всего образца. Применение релаксации позволяет восстановить влагопроводные свойства поверхностного слоя рыбы. Во время релаксации прекращается подача электрической энергии на нагревательные элементы. Снижается скорость циркуляции сушильного агента. В сушильную установку подается воздух более низкой температуры и более высокой относительной влажности, чем сушильный агент. В сушильной установке создаются условия, сдерживающие внешний массообмен и способствующие к перераспределению влаги по толщине рыбы. Во время релаксации влага постепенно перемещается от центральных слоев, где обезвоживание еще не наступило, к обезвоженным поверхностным слоям.

Ключевые слова: обезвоживание, процесс, релаксация, коэффициенты диффузии влаги, влагопроводность, массоотдача

The calculation of the relaxation processes during dehydration of fish

Mikhail A. Ershov,¹ ershovma@mstu.edu.ru
Aleksandr M. Ershov,¹ ershovma@mstu.edu.ru
Vladimir A. Grokhovskii,¹ grohovskiyva@mstu.edu.ru

¹ department of technology of food manufactures Russia, Murmansk state technical university, Sportivnaya st., 13, Murmansk, 183010, Russia

Summary. The methods of study of relaxation processes that are applicable during fish dehydration considering the influence of the chemical composition, geometric size of the processing object and regime parameters of the dehydration processes are developed in this work. The usage of the numerical methods of calculation on the basis of solution of the second-order differential equation with boundary conditions of the third kind allow with sufficient accuracy for engineering practice modeling the different conditions of the dehydration process conducting with periodic restoration of hydraulic conductivity properties of the objects of dehydration. The proposed calculation methods applicable to dehydration processes. Which consists of a continuous initial period and the combined periods of drying fish and relaxation dehydration facility. During the relaxation is provided an exposure to a drying agent for dewatering for a certain time. During relaxation stops the supply of electric power to the heating elements. Reduces the rate of circulation of the drying agent. In the drying installation is supplied with air of lower temperature and higher relative humidity than the drying agent. In drier conditions are created that constrain external mass transfer and promotes relaxation of moisture, that is, to its redistribution in the thickness of the fish. During the relaxation of the moisture is gradually shifting from the central layers where dehydration has not yet come to the dehydrated surface layers. The appearance of moisture inside the dehydrated surface area leads to putting up and expansion of capillaries. At the next interval change product moisture re-enters the dehydration process, the high conductive properties throughout its volume.

Keywords: dehydration, process, relaxation, moisture diffusion coefficient, hydraulic conductivity

Введение

На интенсивность процесса массопереноса оказывают влияние режимные параметры, геометрические размеры тела, его химический состав. Исследователями установлено [1], что скорость движения сушильного агента выше двух метров в секунду не оказывает влияния на интенсивность обезвоживания после достижения первой критической влажности на кривых кинетики сушки. Это явление можно объяснить тем, что процесс испарения влаги с поверхности в сушильную среду протекает с большей скоростью, чем перенос влаги из центра к поверхности

рыбы. По мере обезвоживания мясо рыбы уплотняется. При этом размер пор капилляров уменьшается в шесть – десять раз. Особенно это ярко проявляется в приповерхностном слое, который граничит с сушильным агентом. Решение дифференциальных уравнений тепломассопереноса осуществлялось в основном при граничных условиях первого рода [2, 3], хотя зачастую тепловая обработка рыбного сырья происходит при граничных условиях третьего рода. Многие исследователи и производственники пытались восстановить влагопроводные свойства в приповерхностном слое рыбы за счет периодического прекращения воздействия

Для цитирования

Ершов М. А., Ершов А. М., Гроховский В. А. Расчет процессов релаксации при обезвоживании рыбы // Вестник ВГУИТ. 2016. № 3. С. 37–43. doi:10.20914/2310-1202-2016-3-37-43

For citation

Ershov M.A., Ershov A.M., Grohovskii V. A. The calculation of the relaxation processes during dehydration of fish. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 3. pp. 37–43. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-3-37-43

на объект сушильного агента или увлажнения его поверхности мелко диспергированными частицами воды, или ведения процесса при постоянном значении коэффициента активности воды (мягкие режимы сушки). Другие рекомендуют вести процесс обезвоживания, используя жесткие режимы сушки. На наш взгляд, является перспективным восстановление влагопроводных свойств рыбы путём периодической остановки процесса сушки для релаксации поверхностного слоя рыбы в сочетании с достаточно жёсткими режимами обезвоживания.

1.1 Цель и задачи исследований

До настоящего времени процесс релаксации влаги в рыбе мало изучен. Не выявлены его закономерности, способствующие не только снижению продолжительности, но и затратам энергии при производстве рыбных продуктов. На основании изложенного целью работы является изучение и выявление основных закономерностей внутреннего массопереноса влаги в процессах, протекающих при малых значениях критерия Био. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику изучения процесса релаксации.

2. Выявить основные закономерности, протекающие при перераспределении влаги внутри объекта обезвоживания.

3. Разработать энергоэкономичные способы обезвоживания рыбы в комбинации воздействия на объект сушильного агента и периодическом восстановлении его влагопроводных свойств.

1.2 Описание процесса релаксации

Количество влаги dM_1 , перемещающейся из внутренних слоёв тела к поверхности за время dt , можно записать, воспользовавшись законом Фурье. Перенос влаги из центра тела к его поверхности равен:

$$dM_1 = -\lambda m_1 dF (\partial w / \partial n)_1 dt, \quad (1)$$

где λm_1 – удельный коэффициент массопроводности, кг / (м·%·с); F – поверхность тела, м²; w – содержание влаги в теле, %; τ – продолжительность, с; $(\partial w / \partial n)_1$ – производная по направлению, перпендикулярному к поверхности F (градиент влажности), % / м.

В процессе обезвоживания поверхностные слои уплотняются. Поэтому уплотненные слои оказывают перемещению влаги большее сопротивление, чем остальные внутренние части

рыбы. Перенос влаги через них описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$dM_2 = -\lambda m_2 dF (\partial w / \partial n)_2 dt, \quad (2)$$

где λm_2 – удельный коэффициент массопроводности сухого слоя, остальные обозначения известны.

Определенное количество влаги передается от поверхности тела к окружающей среде:

$$dM_3 = \beta_m (w_n - w_e) dF dt, \quad (3)$$

где β_m – удельный коэффициент массоотдачи от поверхности тела в окружающую среду, кг / (м²·%·с); w_n – содержание воды на поверхности тела, %; w_e – содержание воды в сушильном агенте, %.

При отсутствии движения сушильного агента в период релаксации коэффициент β_m существенно уменьшается, стремясь к нулю. Тогда $dM_3 = 0$. Принимая во внимание, что $dM_1 = dM_2$, получим следующее выражение:

$$-\lambda m_1 dF (\partial w / \partial n)_1 dt \approx -\lambda m_2 dF (\partial w / \partial n)_2 dt \quad (4)$$

Разделим обе части уравнения на $dF dt$,

$$-\lambda m_1 (\partial w / \partial n)_1 \approx -\lambda m_2 (\partial w / \partial n)_2 \quad (5)$$

Для удобства анализа перейдем к одной пространственной координате и будем рассматривать случай неограниченной пластины толщиной $2l$. Из уравнения (5) следует, что в процессе перераспределения влаги релаксационные кривые имеют общую точку с одинаковой влажностью, в которой они пересекаются. Общая точка с постоянной влажностью после достаточно глубокого обезвоживания перед релаксацией располагается вблизи внутренней границы «сухого слоя». Коэффициент удельной влагопроводности λm_2 по мере насыщения поверхностного слоя влагой увеличивается более значимо, чем уменьшается λm_1 . В таком случае общая точка будет постепенно перемещаться вверх и вправо на кривых динамики обезвоживания от точки A до точки $A1$ (рисунок 1). Разницу в динамике изменения λm_1 и λm_2 можно объяснить тем, что объем приповерхностного сухого слоя значительно меньше объема слоя с высокими влагопроводными свойствами. Поворачиваясь вокруг общей точки одинаковой влажности, левая часть кривых динамики релаксации поднимается вверх, а правая часть опускается вниз. Точку одинаковой влажности на кривых динамики релаксации назовем точкой поворота. Через довольно продолжительное время обе части достигнут среднеобъемной влажности.

1.3 Особенности расчета процессов релаксации

В более ранних работах нами разработана методика расчета процессов обезвоживания и релаксации влаги численными методами с учетом влияния химического состава, геометрических размеров объектов обработки и режимных параметров процессов сушки [4, 5]. По этой методике в течение периода релаксации расчет влажности объекта обработки ведется от центра к поверхности, т. е. задачей расчета является определение влажности на поверхности и построение кривых динамики обезвоживания. Влажность на поверхности определяется из следующего выражения:

$$w_n = w - \sum_{i=1}^{n-1} \frac{w_i}{n}, \quad (6)$$

где w_n – влажность на поверхности образца; w_i – влажность в узлах сетки, за исключением влажности на поверхности; n – количество отрезков, на которые разбита половина толщины

образца; w – среднеобъемная влажность, на значение которой оказывают влияние следующие параметры:

$$w = \psi(\tau, N, X_p, w_0, s/m), \quad (7)$$

где N – скорость обезвоживания в первый период сушки; X_p – жесткость режима процесса обезвоживания; w_0 – начальная влажность объекта обработки; s/m – удельная поверхность объекта обработки.

Условием расчёта процесса релаксации является наличие кривой динамики сушки в момент прекращения подачи сушильного агента. Однако кривые динамики релаксации объекта сушки, полученные расчетом методом сеток, в приповерхностной зоне имеют выпуклость вниз. Это показывает, что влажность на поверхности растёт несколько быстрее, чем в приповерхностной зоне, т. е. в данном случае допущение $dM_3 = 0$ приводит к несколько искажённым результатам при расчетах процесса релаксации с использованием численных методов.

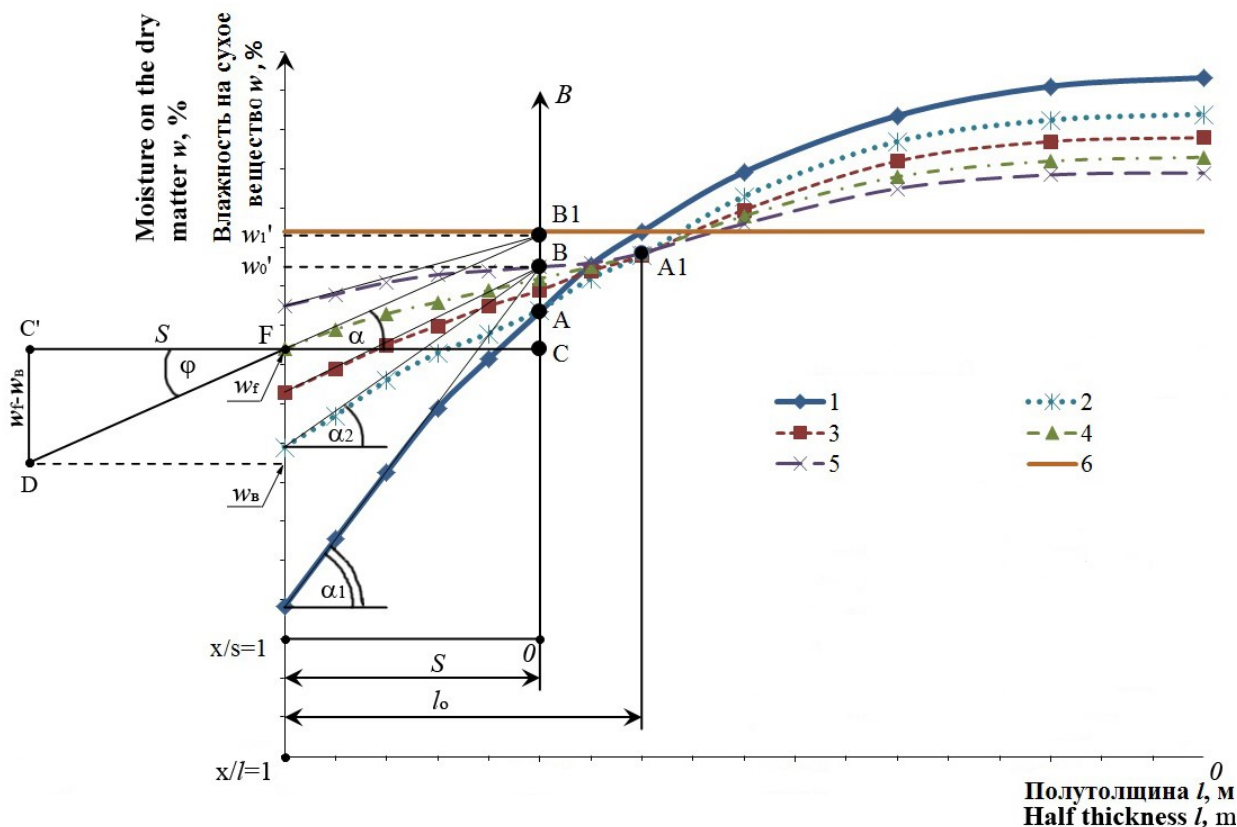


Рисунок 1. Кривые динамики релаксации рыбы: 1 – кривая на момент начала релаксации; 2 – кривая на момент релаксации 0,5 часа; 3 – кривая на момент релаксации 1 час; 4 – кривая на момент релаксации 1,5 часа; 5 – кривая на момент релаксации 2 часа; 6 – среднее влагосодержание в образце рыбы

Figure 1. The curves of the dynamics relaxation fish: 1 – the curve at the beginning of the relaxation; 2 – relaxation curve at the time of 0,5 hours; 3 – relaxation curve at the time of 1 hour; 4 – curve at the time of relaxation of 1,5 hours; 5 – curve at the time of relaxation 2 hours; 6 – average moisture level in a sample of fish

По мере увлажнения приповерхностного слоя со стороны притока влаги из центральных слоёв, частично восстанавливаются влагопроводные свойства, вместе с тем влага частично испаряется с поверхности. Поэтому кривая динамики релаксации должна быть направлена выпуклостью вверх.

Для уменьшения погрешности определения влажности на поверхности объекта релаксации предпочтительно использовать данные расчёта численными методами только для нахождения двух кривых динамики распределения влаги непосредственно после обезвоживания, т. е. в начальный момент релаксации при $\tau_p = 0$ и в заключительный момент этого периода релаксации при $\tau_p = \tau_1$, например $\tau_p = 0,5$ часа. В дальнейших расчетах применяем решение дифференциального уравнения второго порядка с граничными условиями третьего рода для неограниченной пластины, которое выглядит следующим образом:

$$\theta_{(x,\tau)} = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\mu_i^2 Fo} \cdot \cos(\mu_i x/R) \quad (8)$$

здесь n – количество равноотстоящих точек на той или иной части кривой динамики релаксации ($n = 4 - 7$); A_i – постоянный коэффициент, свой для каждого члена ряда (не зависящий ни от координат, ни от времени τ); Fo – критерий Фурье, $Fo = D\tau / R^2$, где D – коэффициент диффузии влаги; μ_i – корни характеристического уравнения:

$$ctg\mu = \frac{\mu}{Bi} \quad (9)$$

Так как при расчетах численным методом изначально заложены граничные условия третьего рода, то их можно будет учесть и в дальнейших расчетах, подбирая в решении дифференциального уравнения второго порядка коэффициенты A_i и μ_i таким образом, чтобы значения построенной численным методом кривой динамики релаксации совпали с таковой при $\tau_p = \tau_1$, построенной на основе представленных ниже уравнений.

При расчете левой половины кривой динамики релаксации $R = S$, где S толщина зоны релаксации. Для правой части кривой динамики релаксации от точек A и A_1 значение $R = l$, здесь l половина толщины образца (рисунок 1). При $Fo \geq 0,5$ достаточно воспользоваться только одним корнем μ_i выражения (8). Использование выражения (8) для расчёта левой половины от точки A кривой динамики в процессе релаксации:

$$\theta_{(x,\tau)} = \frac{w'_0 - w_{(x,\tau)}}{w'_0 - w_{(ni)}}, \theta_{(x,\tau)} = \frac{w'_1 - w_{(x,\tau)}}{w'_1 - w_{(ni)}}, \dots, \theta_{(x,\tau)} = \frac{w'_n - w_{(x,\tau)}}{w'_n - w_{(ni)}}, \quad (10)$$

где w'_0, w'_1, w'_n – значение влажности в точках поворота для начальной, первой и последующих групп релаксационных кривых (рисунок 1), пересекающихся в одной общей для группы кривых точке: B, B_1, B_n^1 ; $w_{(x,\tau)}$ – искомая влажность образца в какой-либо его точке через промежуток времени, равный $\tau = \tau_p$; $w_{(ni)}$ – влажность образца в соответствующей точке предыдущей релаксационной кривой.

Для правой части от точки A (рисунок 1) кривой динамики релаксации искомое значение компоненты в безразмерном виде выглядит следующим образом:

$$\theta_{(x,\tau)} = \frac{w_{(x,\tau)} - w'_0}{w_{(ni)} - w'_0}, \theta_{(x,\tau)} = \frac{w_{(x,\tau)} - w'_1}{w_{(ni)} - w'_1}, \dots, \theta_{(x,\tau)} = \frac{w_{(x,\tau)} - w'_n}{w_{(ni)} - w'_n} \quad (11)$$

Из уравнения (8) следует, что для релаксационных процессов распределения влажности по толщине «сухого слоя» для разных моментов времени τ свойственны симметричные кривые, монотонно возрастающие от наружной поверхности «сухого слоя» образца к его внутренней поверхности (рисунок 1). Касательные, проведенные к кривым динамики релаксации, проходят через одну точку B . Если касательные к кривым пересекаются, то эти кривые должны сойтись в какой-то точке A .

Исходными данными для расчета служили левые и правые части кривых 1 и 2 (рисунок 1). Эти кривые получены расчётным путем с использованием метода сеток. Точки на кривой 1 являлись исходными для нахождения A_i и μ_i в уравнении (8).

Для расчёта релаксации рыбы в приповерхностном «сухом слое» (слева от точки A) использовалась величина S в качестве определяющего размера. Критерий Fo находили для левой и правой частей релаксационных кривых из выражения: $Fo = D\tau/S^2$. Определение коэффициентов теплопроводности D (коэффициентов диффузии влаги) производили по методике, разработанной авторами ранее [4].

¹ Общие точки пересечения релаксационных кривых B_2, B_3, \dots, B_n на рис.1 не показаны. Они характерны для релаксационных процессов после достаточно глубокого обезвоживания рыбы.

Значение D определяли для приповерхностного «сухого слоя». Подбирая значения A_i и μ_i , добивались близкого совпадения значений, полученных из уравнения (8), с таковыми на первой релаксационной кривой 2 (рисунок 1) при $\tau_p = 0,5$ часа. В этом случае сохраняются в дальнейших расчётах граничные условия третьего рода, которые были учтены в расчетах процессов обезвоживания численными методами. Продолжительность релаксации $\tau_p = 0,5$ часа является минимально-возможной в реальных промышленных установках с точки зрения рационального управления системой автоматического поддержания заданных технологических режимов. При достаточно длительном обезвоживании пересечение кривых 1 и 2 (точка A) находится вблизи внутренней границы приповерхностного «сухого слоя». Далее строили касательную к левой части кривой 1. На касательной отмечали точку B в месте пересечения касательной и вертикальной линии, проходящей через точку A . Касательные, проведенные к двум – трем релаксационным кривым, пересекаются в точке B , а кривые 1, 2 и 3 проходят через точку A (точка поворота релаксационных кривых). Касательные, проведенные к кривым 4 и 5, имеют уже другую точку пересечения $B1$ и, как следствие, сами кривые пересеклись в точке $A1$, которая находится правее и выше точки A .

Значение влажностей w'_0 и w'_1 в точках B и $B1$ (рисунок 1) являются начальными значениями при определении безразмерной величины θ . При расчете процесса релаксации длительностью 2,5 – 3 часа возможно, что количество точек « B » возрастет до трех или четырех. В этом случае в расчетах θ меньшее значения влажности w'_0 в точке B заменяют на большее в точках $B1$ или $B2$, а, возможно, и $B3$. Следовательно, точка поворота перемещается вправо и вверх к точкам $A2$, $A3$ (на рисунке 1 не показаны).

В реальности точка поворота A по мере релаксации плавно перемещается вправо и вверх (от точки A до точки $A1$). Чем меньше отношение w_{cp}/w_{k2} (отношение средней влажности к влажности второй критической точки) или w_{cp}/w_0 (отношение средней влажности к начальной влажности рыбы), тем меньше значение ординаты точки $A1$ отличается от таковой в точке A и наоборот. При больших значениях w_{cp}/w_{k2} или w_{cp}/w_0 может наблюдаться существенное удаление точки $A1$ от точки A . Это явление объясняется тем, что при сравнительно высоких влажностях по мере релаксации быстрее восстанавливаются теплопроводные свойства так называемого приповерхностного сухого слоя, и процесс релаксации происходит при меньших

значениях $\Delta w = w'_0 - w_f$, постепенно достигая равновесного состояния как в правой, так и в левой от точки A частях кривой динамики релаксации.

При бесконечно большом времени релаксации кривые динамики релаксации достигнут средней влажности образца. Тангенс угла α наклона касательных (рисунок 1) равен:

$$tg \alpha = \frac{B1C}{FC} = - \left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{x=1}$$

С другой стороны, продолжив касательную влево от точки F , очевидно, что

$$tg \alpha = tg \varphi, tg \varphi = (w_f - w_e) / S,$$

где w_f – содержание воды на поверхности рыбы (рисунок 1).

Для случая, когда вся влага, пройдя от центра к поверхности, полностью испарится в окружающую среду, основное уравнение массоотдачи в дифференциальном виде выглядит следующим образом:

$$-\lambda_m (\partial w / \partial x) = b_m (w_f - w_e)$$

или

$$\partial w / \partial x = tg \alpha = tg \varphi = (w_f - w_e) / S = b_m / \lambda_m (w_f - w_e).$$

Отсюда следует, что $S = \beta_m / \lambda_m$.

Таким образом:

$$-\left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{x=1} = (w_f - w_e) / (\lambda_m / \beta_m) = (w_f - w_e) \cdot Bi / l \quad (12)$$

Последнее выражение позволяет находить критерии Био расчётным путём как для процессов обезвоживания, так и для процессов релаксации влаги.

Рассмотрим вариант, в котором большая часть влаги остается в левой части образца для восстановления теплопроводных свойств последнего, а часть – испаряется в окружающую среду. Обозначим долю влаги, испарившейся с поверхности: $a = dM_3 / dM_2$. В этом случае основное уравнение массоотдачи в дифференциальном виде примет вид:

$$\alpha \lambda_{m2} (\partial w / \partial x) = b_m (w_f - w_e) \quad (13)$$

После небольших преобразований получим следующее выражение:

$$-\left. \frac{\partial w}{\partial x} \right|_{x=1} = (w_f - w_e) / (a \cdot \lambda_{m2} / \beta_m) = (w_f - w_e) \cdot Bi / (a \cdot l) \quad (14)$$

Последнее выражение можно использовать для расчета критерия Bi , когда значение коэффициента теплообмена $\beta_m > 0$.

На рисунке 2 представлен расчет процесса релаксации в соответствии с методическим подходом, изложенным выше. Результаты

расчета с использованием численных методов практически совпадают с аналитическим решением дифференциального уравнения второго порядка с граничными условиями третьего рода.

Характер кривых динамики релаксации, построенных с помощью аналитического решения дифференциального уравнения второго порядка, соответствует таковому, найденному путем построения кривых на основе эксперимента.

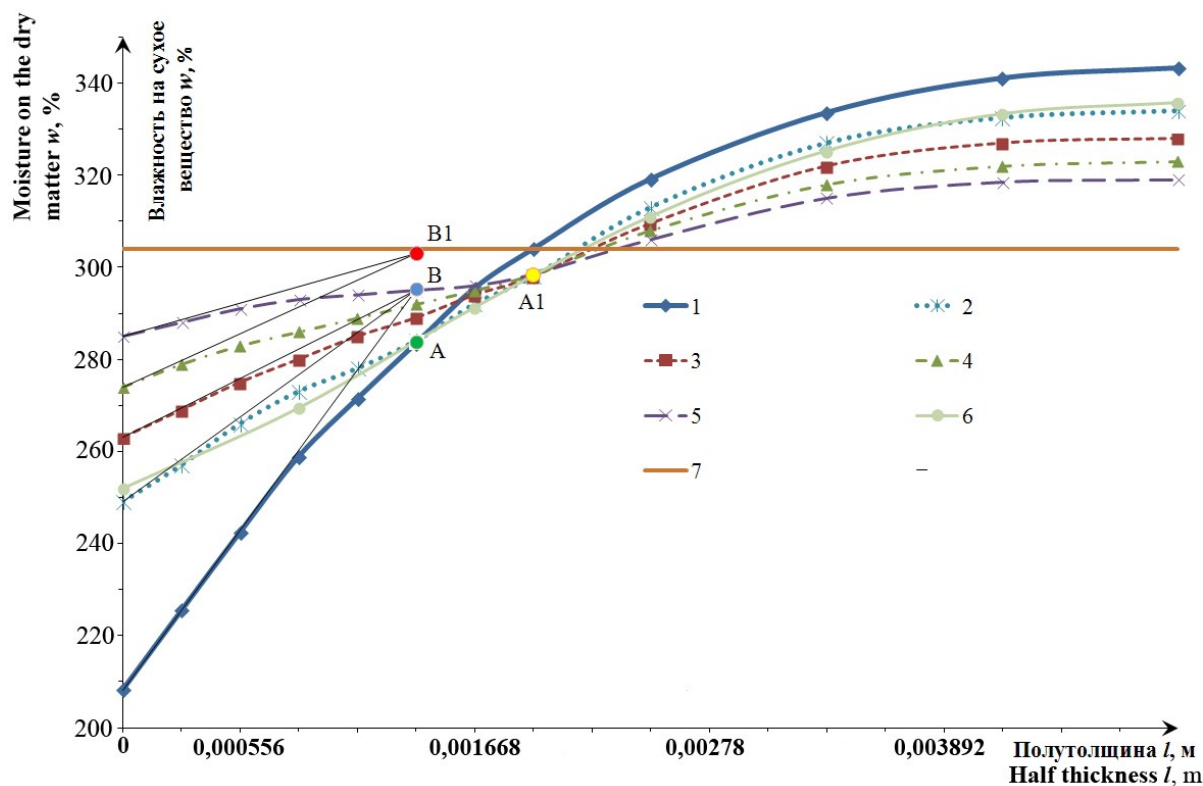


Рисунок 2. Кривые динамики обезвоживания и релаксации камбалы-ерша: 1 – кривая на момент начала релаксации; 2 – кривая на момент релаксации 0,5 часа; 3 – кривая на момент релаксации 1 час; 4 – кривая на момент релаксации 1,5 часа; 5 – кривая на момент релаксации 2 часа; 6 – кривая на момент релаксации 0,5 часа, построенная методом сеток; 7 – среднее влагосодержание в образце рыбы

Figure 2. The curves of the dynamics of dehydration and relaxation rough dab: 1 – the curve at the beginning of the relaxation; 2 – relaxation curve at the time of 0,5 hours, 3 – relaxation curve at the time of 1 hr; 4 – curve at the time of relaxation of 1,5 hours; 5 – curve at the time of relaxation 2 hours; 6 is a curve at the time of 0,5 hours of relaxation constructed by numerical method; 7 – average moisture level in a sample of fish

Закключение

Заложены теоретические основы изучения механизма релаксации приповерхностного сухого слоя рыбы посредством анализа кривых динамики распределения влаги, полученных

расчетным путем с использованием численных методов и аналитических решений дифференциального уравнения второго порядка для неограниченной пластины с граничными условиями третьего рода.

ЛИТЕРАТУРА

1 Глазунов Ю.Т. и др. Процессы сушки, копчения и вяления рыбы: учеб. пособие для студентов образоват. орг. высш. образования, обучающихся по направлению подгот. 15.03.02 (151000) «Технологические машины и оборудование» уровня бакалавриата. М.: Моркнига, 2015. 261 с.
2 Ortiz J., Lemus-Mondaca R., Vega-Galvez A., Ah-Hen K. et al. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, color, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmosalar L.*) fillets // Food Chemistry. 2013. V. 139. P. 162-169.

3 Martins M.G., Martins D.E.G, Pena R.S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents // LWT - Food Science and Technology. 2015. V. 62. P. 144-151.
4 Ершов А.М., Ершов М.А., Николаенко О.А. Методика расчета кривых кинетики и динамики обезвоживания в процессах вяления и холодного копчения рыбы // Вестник МГТУ. 2010. Т. 13. № 4. Ч. 2. С. 947-950.
5 Похольченко В.А., Ершов А.М., Ершов М.А. Особенности обобщения подобных явлений в процессах тепловой обработки рыбы // Вестник ВГУИТ. 2015. № 2 (64). С. 44-50.

REFERENCES

1 Yu.T. Glazunov Yu.T. et al. Protsessy sushki, kocheniya i vyaleniya ryby [Drying processes, smoked and dried fish: the textbook for students of educational institutions of higher education, in the direction of 03.15.02 (151000) "Technological machines and equipment" level undergraduate] Moscow, MORKNIGA, 2015. 261 p. (in Russian).

2 Ortiz J., Lemus-Mondaca R., Vega-Galvez A., Ah-Hen K. et al. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmosalar L.*) filets. *Food Chemistry*, 2013, vol. 139, pp. 162-169.

3 Martins M.G., Martins D.E.G, Pena R.S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT - Food Science and Technology*. 2015, vol. 62, pp. 144-151.

4 Ershov A.M., Ershov M.A., Nikolaenko O.A. Methods of calculating the curves of the kinetics and dynamics of dehydration in the process of drying and cold smoked fish. *Vestnik MGTU* [Proceedings of MSTU] 2010, vol. 13, no. 4, part 2, pp. 947-950. (in Russian).

5 Pokholchenko V.A., Ershov A.M., Ershov M.A. Features generalization of such phenomena in the heat treatment process fish. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET] 2015, no. 2 (64), pp. 44-50. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Михаил А. Ершов канд. техн. наук, ст. науч. сотр., кафедра технологий пищевых производств, Мурман. гос. техн. ун-т, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, ershovma@mstu.edu.ru

Александр М. Ершов д-р. техн. наук, профессор, гл. науч. сотр., кафедра технологий пищевых производств, Мурман. гос. техн. ун-т, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, ershovma@mstu.edu.ru

Владимир А. Гроховский д-р. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологий пищевых производств, Мурман. гос. техн. ун-т, ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Россия, grohovskiyva@mstu.edu.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Michael A. Ershov Ph.D., senior researcher, Department of Food Production Technology, Murman. state. tehn. University Press, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, ershovma@mstu.edu.ru

Aleksandr M. Ershov Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of Food Production Technology, Murman. state. tehn. University Press, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, ershovma@mstu.edu.ru

Vladimir A. Grokhovskii Dr. tehn. Sciences, Professor, Head of the Department of Food Production Technology, Murman. state. tehn. University Press, str. Sport, 13, Murmansk, 183010, Russia, grohovskiyva@mstu.edu.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Михаил А. Ершов написал рукопись, корректировал рукопись до подачи в редакцию, несет ответственность за плагиат

Александр М. Ершов консультация по расчетной части исследования

Владимир А. Гроховский консультация по тематике исследования

CONTRIBUTION

Michael A. Ershov wrote the manuscript, corrected manuscript before the submission to the editorial board and is responsible for plagiarism

Aleksandr M. Ershov consultation calculated of the study

Vladimir A. Grokhovskii consultation on the subject of research

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 03.08.2016

RECEIVED 8.3.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 22.08.2016

ACCEPTED 8.22.2016