



ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА ПОСОЛА РЫБЫ В ПОЛЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

В. П. СЛАБЯК,

аспирант,

Л. А. МИНУХИН,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой,

Уральский государственный аграрный университет

(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 8 (343) 371-33-63)

Ключевые слова: повышение эффективности, посол рыбы, соленость, интенсификация, вибростимуляция, образцы рыбы, механические колебания, кинетика процесса, внешний массообмен, внутренний массообмен.

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования кинетики посола рыбы в поле механических колебаний, задачей которого был поиск оптимального режима и условий ведения процесса. Известно, в частности, что процесс посола существенно интенсифицируется под воздействием механических колебаний. Однако кинетика этого процесса изучена до сих пор недостаточно, это выражается в неясности роли лимитирования скорости, как самого процесса, так и его составляющих — внутреннего и внешнего массопереноса. Решение этого вопроса поспособствует определению оптимальных кинетических условий для посола в поле механических колебаний. Горбуша и скумбрия приняты в качестве объекта исследования, как наиболее распространенные на практике. Поле механических колебаний создавалось вращением масс дебалансеров, закрепленных на валах, с эксцентриситетом. Режим колебаний в опытах велся при амплитуде $A = 5$ мм и частоте колебаний $f = 25$ Гц. В качестве посолочной среды использовался раствор поваренной соли. Произведено два эксперимента. В первом случае, образцы рыбы свободно погружаются в объем емкости с рассолом в ходе работы лабораторной установки. Во втором, образцы подвешиваются на перекладину, так обеспечивается их неподвижность относительно движения раствора и колебаний. Полученные при опытах образцы рыбы достигают равномерную соленость, при очевидном сокращении времени процесса посола рыбы. Концентрация соли в рыбе во время обработки изменялась от естественной солености рыбы ($C_{\text{нач}} = 2,6\text{--}2,7$ % по массе). Конечная концентрация образцов рыбы соответствовала условиям готового продукта для слабосоленой — $C = 7$ %, а также стандартной солености — $C = 9$ %, по ГОСТу 7448-2006 (ГОСТ 16081-70) и ГОСТу 16080-2002. Результаты исследований могут быть использованы для получения практической рекомендации проведения посола рыбы в промышленных условиях.

INVESTIGATION OF THE KINETICS OF THE PROCESS OF SALTING FISH IN THE FIELD OF MECHANICAL VIBRATIONS

V. P. SLABYAK,

postgraduate student,

L. A. MINUKHIN,

doctor of technical sciences, professor, head of department, Ural State Agricultural University

(42 K. Libknehta Str., 620075, Ekaterinburg; tel: +7 (343) 371-33-63)

Keywords: improving the efficiency, salting fish, salinity, intensification, vibratory stimulation, sample fish, mechanical vibrations, kinetics of the process, external mass transfer, internal mass transfer.

This paper gives the results of experimental study of the kinetics of salting fish in the field of mechanical vibrations, whose task was to find the optimal mode and conditions of the process. It is known in particular that the process is salting significantly is intensified under the influence of mechanical vibrations. However, the kinetics of this process been studied so far not enough this is expressed in an unclear role of limiting the speed of the process and its components — internal and external mass transfer. Resolving this issue will contribute to determining optimal kinetic conditions for salting in the field of mechanical vibrations. Pink salmon and mackerel taken as object of research as the most common in practice. Mechanical vibrations caused by the rotation of the masses of pushers, which are fixed on the shafts with eccentricity. Mode oscillations in the experiments was conducted at an amplitude $A = 5$ mm and the oscillation frequency $f = 25$ Hz. Sodium chloride solution was used as a medium for salting. Carried out — two experiments. In the first case, the samples are immersed in the free volume of a brine container, during operation of the laboratory setup. In the second, the samples are mounted on the bar, so secure them in place with respect to fluid movement and vibrations. Obtained in experiments samples of fish, reach a uniform salinity, with the obvious reduction of process time salted fish. The salt concentration in the fish during processing varied between natural salinity ($C_0 = 2.6\text{--}2.7$ % by weight). The final concentration of fish samples correspond to the conditions of the finished product for slightly salted — $C = 7$ %, as well as the standard salinity — $C = 9$ %, according to StSt 7448-2006 (StSt 16081-70) and StSt 16080-2002. The research results can be used to produce the practical recommendations to holding salting fish in an industrial environment.

Положительная рецензия представлена Г. Б. Пищиковым, доктором технических наук, профессором Уральского государственного экономического университета.



Установлено, что наложение механических колебаний на процесс посола рыбы способствует значительной интенсификации массопереноса [1, 2, 3]. Однако кинетика этого процесса до сих пор недостаточно изучена, в частности неясна какая из стадий процесса (внешний массообмен, внутренний массообмен) лимитирует общую скорость процесса. Решение этого вопроса позволило бы обоснованно конструировать оборудование для посола, в частности посола рыбы.

Таким образом, целью исследований, проведенных в данной работе, явилось экспериментальное изучение сравнительного вклада внешнего и внутреннего массопереноса в суммарную скорость процесса посола.

В задачи исследования входили: проведение экспериментальных исследований в лабораторной установке; анализ распределения посолочных ингредиентов по всей массе рыбного продукта в разных условиях организации движения жидкости на границе рассол-продукт.

Для проведения исследований использовали лабораторный комплекс (рис. 1), созданный специально для изучения влияния механических колебаний на массообменные процессы, размещенный в лаборатории кафедры пищевой инженерии аграрного производства. Этот комплекс был доработан, с целью обеспечить различные формы относительного движения сред на границе рассол-продукт. В данном исследовании базовым параметром для оценки качества посола использовался показатель концентрации посолочных веществ в объеме продукта. В качестве основного сырья для исследований изменения концентрации соли была выбрана горбуша и скумбрия.

Для сравнения данные исследований в статье по массообмену [1] при посоле рыбы сопоставлены с результатами, полученными в настоящей работе на установке (рис. 1).

Установка включает в себя: 1 — двигатель; 2 — основание; 3, 4, 5 — зубчатые колеса; 6 — дебалансер; 7 — пружина; 8 — рабочая емкость с раствором; 9 — подвешенный образец рыбы; 10 — лежащий на дне образец рыбы. Основной принцип работы в создании механических колебаний посредством враще-

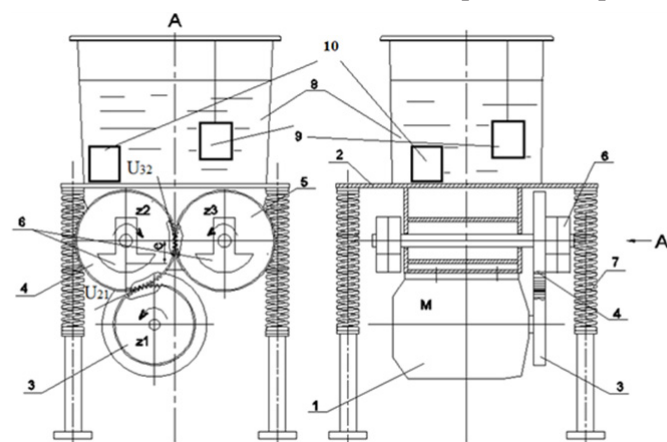


Рисунок 1

Лабораторная установка для изучения влияния механических колебаний на скорость посола рыбы: 1 — двигатель; 2 — вибростол; 3, 4, 5 — зубчатые колеса; 6 — дебалансер; 7 — пружина; 8 — рабочая емкость с раствором; 9 — подвешенный образец рыбы; 10 — свободно погруженный образец рыбы

ния масс толкателей, установленных на валах с эксцентриситетом. Установка работает следующим образом: солевой раствор и исследуемый образец для исследования процесса загружаются в рабочую емкость 8, закрывается сверху крышкой и ставится на основание. Затем аппарат подключается к электрической сети 220 В с помощью вилки и на шнуре включаем переключатель. На пульте управления задаем требуемые рабочие параметры для процесса.

В процессе испытания определялась концентрация рассола и концентрация в различных точках образца рыбы и изменение названных параметров интервалом от 10 до 25 мин. Измерение концентрации проводилось методом замера солемером, эти измерения повторялись пятикратно, интервал составлял 5 мин.

Уравнение суммарного процесса массопередачи можно записать в виде [4, 5, 6]:

$$j = K_M (C_P - \bar{C}_{пр}), \quad (1)$$

где K_M — коэффициент массопередачи, м/с;
 C_P — концентрация соли в растворе, кг/м³;
 $\bar{C}_{пр}$ — средняя концентрация соли продукта, кг/м³.

Уравнение массопередачи внешнего массообмена:

$$j_1 = \beta_{внеш} (C_P - C_{поп}), \quad (2)$$

где $\beta_{внеш}$ — коэффициент массоотдачи при внешнем массообмене, м/с;

C_P — концентрация соли в растворе, кг/м³;
 $C_{поп}$ — концентрация соли на поверхности продукта, кг/м³.

Уравнение массоотдачи внутреннего массообмена:

$$j_2 = \beta_{внут} (C_{поп} - \bar{C}), \quad (3)$$

где $\beta_{внут}$ — коэффициент массоотдачи при внутреннем массообмене, м/с;

$\bar{C}$ — средняя концентрация соли внутри продукта, кг/м³.

Общий коэффициент массопередачи процесса посола K_M , если пренебречь скоростью процесса переноса на границе раздела рассол-продукт можно записать в следующей форме:

$$K_M = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{внеш}} + \frac{1}{\beta_{внут}}}. \quad (4)$$

Если создать условия, когда в одной серии опытов интенсивность относительного движения на грани-

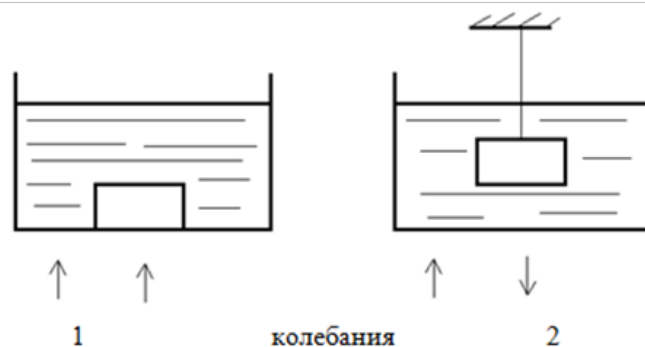


Рисунок 2

Схема характера ведения воздействий колебаний на процесс посола продукта: 1 — первая серия опытов; 2 — вторая серия опытов

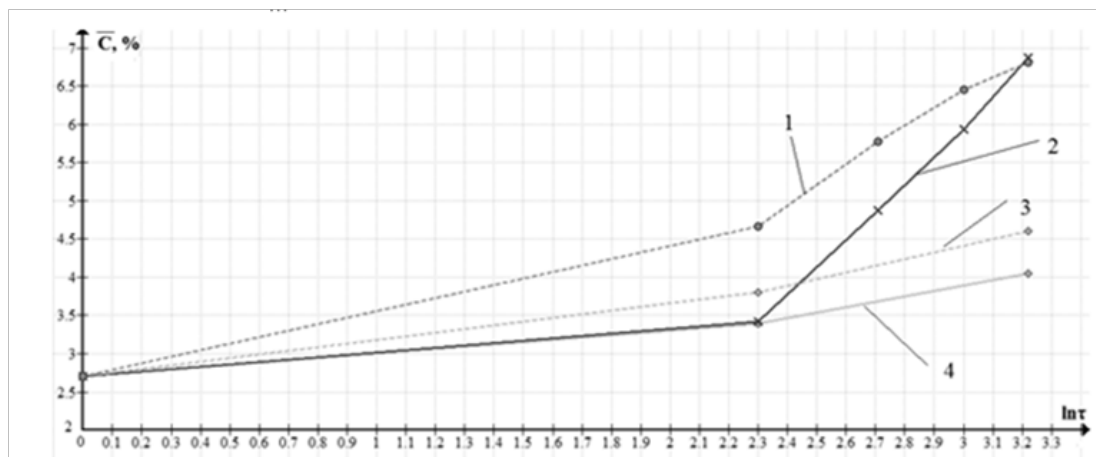


Рисунок 3

Сравнение кривых измерения средней солёности рыбы при посоле в поле механических колебаний: 1, 2 — при передаче колебаний только к емкости с рассолом и неподвижным образцом горбуши и скумбрии соответственно; 3, 4 — при передаче колебаний к емкости с рассолом и продуктом соответственно горбуши и скумбрии

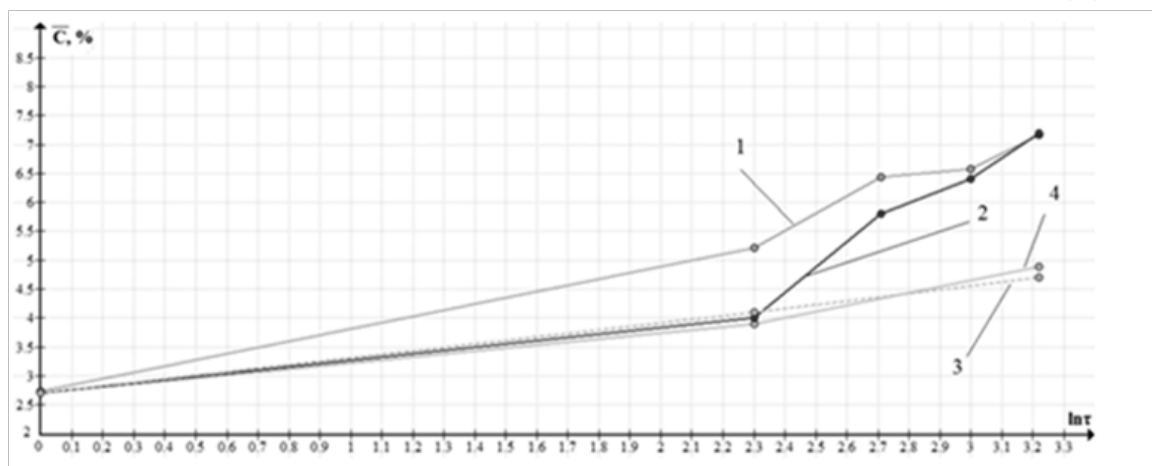


Рисунок 4

Сравнение кривых измерения средней солёности на поверхности рыбы при посоле в поле механических колебаний: 1, 2 — при передаче колебаний только к емкости с рассолом и неподвижном образце горбуши и скумбрии соответственно; 3, 4 — при передаче колебаний к емкости с рассолом и продуктом соответственно горбуши и скумбрии

це жидкость-продукт будут различными (например опыты с малой относительной скоростью и со значительной скоростью относительного движения фаз на границе раздела), то сопоставление результатов этих опытов несомненно выявит стадию массопереноса в максимальной степени интенсифицирующей этот процесс.

Для этого скорость посола определялась в двух сериях опытов. В первой серии продукт (образец рыбы) располагался жестко связанным с общим объемом рассола, то есть и продукт, и рассол имели одинаковый режим колебаний, то есть относительная скорость движения на границе раздела приближалась к нулю (рис. 2, серия опытов 1), и вторая серия опытов, когда эта относительная скорость была значительной.

Схема размещения продукта в рассоле для этих двух серий опытов представлены на рис. 2. Как следует из представленного рисунка, в первой серии продукт и солесодержащая емкость были связаны между собой (продукт располагался непосредственно на дне емкости). В этом случае относительное движение поверхности раздела продукта и жидкость в емкости было незначительным. Во второй серии опытов продукт размещался в емкости с рассолом

не будучи связанным непосредственно с емкостью. В этом случае поскольку воздействию колебаний подвергалась только емкость и следовательно только рассол, а продукт при этом был неподвижен, то относительная скорость движения продукта и рассола на границах их раздела была максимальной, и как можно полагать равной скорости перемещающейся при наложении поля колебаний жидкости.

Методика исследований.

Методика исследований, аналогичная изложенной в работе [1], заключалась в следующем.

Измерение концентрации соли проводилось в исследуемых образцах с помощью солемера, в совокупности с аргентометрическим способом. Диапазон измерений калиброванного солемера TDS-3: 0–9990 ppm или 0–9,99 г/л. Навеску рыбы для измерения измельчали вручную. Исходный раствор соли составлялся путем добавления NaCl в воду из расчета получения раствора около 10 %, такой обычно используется на практике. Эта концентрация является лимитированной, так как раствор, превышающий этот показатель солёности может привести к частичному разрушению структуры белка [3]. Процент содержания соли в растворе, определяется из соотношения (5), затем сверяется по показанию с солемером:

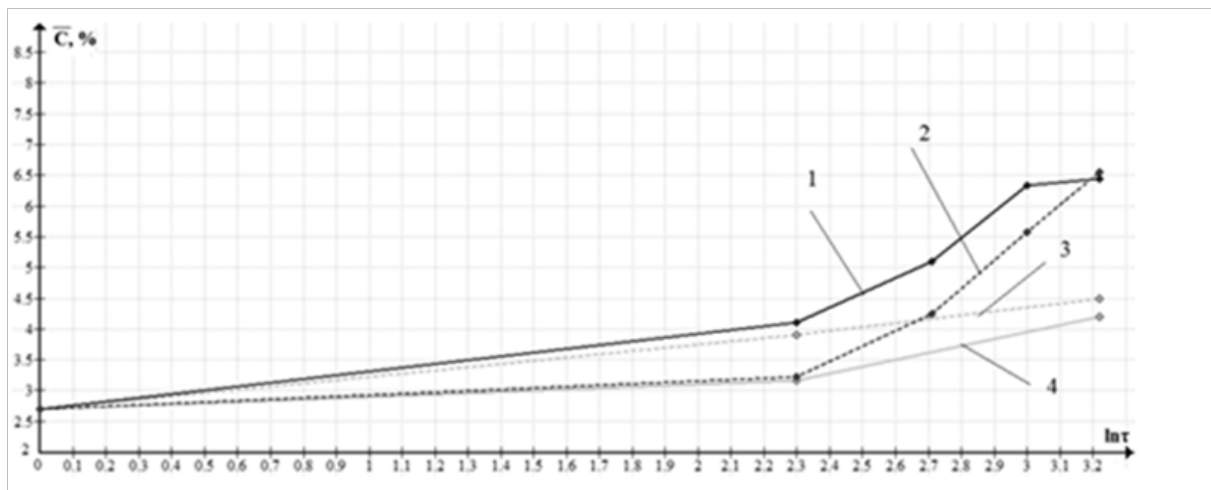


Рисунок 5

Сравнение кривых измерения средней солености внутри рыбы при посоле в поле механических колебаний при измерении на внутренних точках: 1, 2 — при передаче колебаний только к емкости с рассолом и неподвижном образце горбуши и скумбрии соответственно; 3, 4 — при передаче колебаний к емкости с рассолом и продуктом соответственно горбуши и скумбрии

$$\frac{V_{\text{мг}}}{V_{\text{л}}} = \frac{x_{\text{мг}}}{x_{\text{л}}}, \quad (5)$$

где $V_{\text{л}}$, $V_{\text{мг}}$ — объем жидкости на литр раствора и требуемый, л;

$x_{\text{л}}$, $x_{\text{мг}}$ — количество соли на литр жидкости и на требуемый объем, г.

Опыты осуществлялись в лаборатории кафедры ПИАП, инженерного факультета УРГАУ, на лабораторной вибрационной установке, основу которой составляла вибрационная машина марки ЯЗ-ФМС-8, производства ООО ФПК СПКБ «УРАЛМЯСО-МАШ».

Механические колебания, наложенные на систему рыба-рассол, определенно могут интенсифицировать процесс массопереноса соли.

Условия эксперимента были следующими: стейки горбуши и скумбрии соответствовали ГОСТу 814-96 и были приняты, как лабораторный материал соответственно ГОСТу 7631-85. Параметры механических колебаний взяты соответственно рекомендациям [2, 3, 4].

Вся система раствор-образец подвергалась воздействию колебаний с частотой $f = 25$ Гц и амплитудой $A = 5$ мм. Измерения солености рыбы проводились в условиях, когда механические колебания емкости с рассолом отсутствовали и тогда, когда использовались. При этом измерения концентрации проводили с интервалом 5 мин. Одновременно измерение солености образцов проводилось аргентометрическим методом в лаборатории организации Черкашин и партнеры, по ГОСТу 7636-85. При этом измерения проводили с интервалом 12 мин.

Продолжительность воздействия вибрации на процесс в обеих сериях опытов составляла 25 мин, затем емкость убирается с установки. Далее рыба досаливается традиционным способом до требуемой солености. При проведении выбранного режима исследований более 25 мин, не приводит к существенному изменению солености, лишь способствуя серьезным разрушениям целостности и структуры тканей образцов. С помощью метода интерполяции на основе полученных экспериментальных данных, недостающие были определены.

Результаты экспериментов представлены на графиках 3, 4, 5. На рис. 3 кривые свидетельствуют, что массоперенос соли происходит активнее, если колебаниям подвержена только емкость с рассолом, когда между образцом и рассолом возникает определенная относительная скорость движения. Это происходит на отрезке времени от 10 до 25 мин (соответственно значения $\ln t$, равных 2,3 и 3,2).

На рис. 4 и 5 кривые изменения средней солености по внешним и внутренним точкам свидетельствуют, что массоперенос соли имеют такую же тенденцию, как на рис. 3. Также на отрезке времени от 10 до 25 мин (соответственно значения $\ln t$, равных 2,3 и 3,2). В целом для горбуши и скумбрии это справедливо при одинаковых условиях экспериментальных исследований, очевидно, что характер изменения солености в целом подобен, несмотря на биохимические и структурные различия между отдельными видами рыб. Это подтверждает тезис об эффективности и универсальности применения вибрации.

Выводы.

Таким образом, во второй серии опытов относительная скорость движения колеблющегося рассола по отношению к неподвижному продукту была достаточно высокой, в то время как в первой серии экспериментов эта скорость была близка к нулю. Следовательно, во второй серии экспериментов при определяющей роли внешнего массообмена, общая скорость значительно выше и время посола сокращается в 1,6 раза за 25 мин режима обработки, что и показано на графиках. При этом тенденция одинакова для значений солености по внешним и внутренним точкам, даже при разных видах рыб. Так, за 25 мин интенсивного посола достигается концентрация, отличающаяся от требуемой по ГОСТу 7448-2006 значения не более чем на 15 % по малосолевой рыбе, при достижении критической концентрации порядка 10 % [7].

Проведены: экспериментальные исследования в лабораторной установке, а именно анализ влияния кинетики колебаний на распределение посолочных ингредиентов по всей массе рыбного продукта, при расположении и креплении образца относительно объема рассола. Все сказанное выражает целесообразность дальнейших исследований по данной теме.



Литература

1. Слабьяк В. П., Минухин Л. А. Повышение эффективности посола рыбы в поле механических колебаний // Аграрный вестник Урала, 2015. № 3. С. 21–25.
2. Лимонов Г. Е., Боровикова О. П., Горбунова Н. А. Применение вибрации для интенсификации массообменных процессов при посоле мяса. М. : АгроНИИТЭИММП, 1992. С. 32.
3. Лимонов Г. Е., Боровикова О. П., Смирнова Л. В. Вибрационная техника и технология в мясной промышленности. М. : Агропромиздат, 1989. С. 232.
4. Лимонов Г. Е., Горбунова Н. А. Теоретические аспекты интенсификации массообменных процессов при посоле с применением вибрации // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 10. С. 20–23.
5. Минухин Л. А. Расчет сложных процессов тепло и массообмена в аппаратах пищевой промышленности. М. : Агропромиздат, 1986. С. 170.
6. Лимонов Г. Е., Шерман М. Б., Зенкин И. В. К расчету тепло- и массообменных процессов в жидкой среде при вибрации // Мясная индустрия СССР. 1986. № 10. С. 37–39.
7. Уитон Ф. В., Лоусон Т. Б. Обработка водных пищевых продуктов. Нью-Йорк : Уайли, 1985. С. 273–327.

References

1. Slabyak V. P., Minukhin L. A. Improving the efficiency of salting fish in the field of mechanical vibrations // Agrarian bulletin of the Urals. 2015. № 3. P. 21–25.
2. Limonov G. E., Borovikova O. P., Gorbunov N. A. Application of vibration for intensification mass transfer processes in salting meat. M. : AgroNIITEIMMP, 1992. P. 32.
3. Limonov G. E., Borovikova O. P., Smirnov L. V. Vibration equipment and technology in the meat industry. M. : Agropromizdat. 1989. P. 232.
4. Limonov G. E., Gorbunov N. A. Theoretical aspects of the intensification of mass transfer processes in salting using vibration // Storage and processing of agricultural raw materials. 2001. № 10. P. 20–24.
5. Minukhin L. A. Calculation of the complex processes of heat and mass transfer in food processing machines. M. : Agropromizdat, 1986. P. 170.
6. Limonov G. E., Sherman M. B., Zenkin I. V. On the calculation of heat and mass transfer of the processes in the liquid medium vibration // Meat Industry of the USSR. 1986. № 10. P. 37–39.
7. Wheaton F. W., Lawson T. B. Processing Aquatic Food Products. New York : Wiley, 1985. P. 273–327.