

М.А. Ершов

Энергоресурсосберегающий способ конвективного обезвоживания для производства вяленой рыбы

M.A. Ershov

Energy and resource saving method of convective dehydration for production of stockfish

Аннотация. Предложен энергоресурсосберегающий способ конвективного обезвоживания для производства вяленой рыбы. Процесс обезвоживания по данному способу состоит из непрерывной начальной фазы и последующих комбинированных периодов, включающих, в свою очередь, фазы сушки и релаксации влаги в рыбе. Технический результат предложенного способа заключается в эффективном обезвоживании рыбы, снижении затрат электрической энергии, рациональном использовании теплоносителя, сбережении ресурсов работы сушильного оборудования, повышении качества выпускаемой продукции.

Abstract. Energy and resource saving method of convective dehydration for the production of stockfish has been proposed. According to this method the dehydration process consists of a continuous initial phase and some further combined periods. These combined periods of dehydration consist of phases of drying and relaxation of moisture in fish. The technical result of this method includes effective fish dehydration, reduced wastes of electrical energy, rational usage of the heat carrier, resources saving work of the drying equipment, and improving quality of production.

Ключевые слова: обезвоживание рыбы, вяление, энергоресурсосбережение

Key words: dehydration of fish, stockfish, energy and resource saving

1. Введение

Интенсивность процесса конвективного обезвоживания в общем случае зависит от параметров сушильного агента и свойств объекта сушки. К параметрам сушильного агента относятся: температура, относительная влажность, скорость движения теплоносителя в сушильной установке. К свойствам объекта обезвоживания, влияющим на скорость сушки, относятся: внутренние структурные свойства, химический состав, форму объекта и площадь его поверхности. Процессы вяления рыбы обычно проводят при относительно невысоких температурах сушильного агента. Установлено, что для процесса холодной сушки, который является основным при производстве вяленой рыбы, скорость сушильного агента выше 2 м/с не оказывает влияния на интенсивность обезвоживания. Из этого следует, что для процессов холодной сушки внешний массообмен по интенсивности превышает внутренний массоперенос. Поэтому для ускорения процессов вяления необходимо найти пути по интенсификации внутреннего массопереноса (*Артюхова и др.*, 2010).

2. Предпосылки создания метода

В процессе вяления поверхностные слои рыбы, потерявшие часть влаги, уплотняются. Данный факт также косвенно подтверждает опережение процесса испарения влаги с поверхности над переносом влаги из центральных слоев. По мере обезвоживания уменьшаются размеры капилляров для прохода влаги через поверхностные слои. Вблизи поверхности образуется зона, свободная от подавляющей массы влаги и, следовательно, имеющая низкие диффузионные свойства. В результате замедляется процесс обезвоживания рыбы (*Глазунов и др.*, 2012). Применение релаксации влаги позволяет восстановить влагопроводные свойства поверхностного слоя рыбы. Во время релаксации прекращается подача электрической энергии на нагревательные элементы. Значительно 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 релаксации влаги, т.е. ее перераспределению в толще рыбы. Во время релаксации влага постепенно перемещается от центральных слоев, где обезвоживание еще не наступило, к обезвоженным поверхностным слоям.

По предлагаемому способу на каждом элементарном отрезке переноса влаги происходит обезвоживание и собственная релаксация материала. За счет проникновения в поверхностную зону

внутренней влаги продукта происходит релаксация обезвоженных поверхностных слоев. Появление влаги внутри обезвоженной поверхностной зоны приводит к восстановлению влагопроводных свойств капилляров. На следующем отрезке изменения влагосодержания объект обработки вновь входит в процесс обезвоживания с высокими диффузионными свойствами по всему своему объему (Глазунов и др., 2012).

Предлагаемый способ обезвоживания позволяет сократить затраты электрической энергии, увеличить ресурс копильно-сушильных установок за счет более рационального использования теплоносителя, повысить качество выпускаемой продукции за счет снижения явлений деформации в тканях рыбы в результате применения релаксации.

3. Описание реализации метода

После загрузки рыбы в сушильную камеру или печь устанавливают режим процесса обезвоживания. В зависимости от вида рыбы обезвоживание происходит при температуре сушильного агента (воздуха) от 18 до 33 °С, относительной его влажности от 30 до 60 % и скорости движения от 2 до 3 м/с. В первые 10-15 мин для интенсификации подсушивания производят обезвоживание полуфабриката при температуре основного процесса и скорости сушильного агента от 3 до 5 м/с до потерь массы полуфабриката от 3 до 4 %. Далее в течение процесса обезвоживания поддерживают скорость движения сушильного агента от 2 до 3 м/с. Во время подсушки и обезвоживания обеспечивают рециркуляцию сушильного агента в камере (печи). Процесс рециркуляции осуществляется следующим образом. Теплоноситель, проходя через сушильную установку, осуществляет передачу тепла объекту обезвоживания и поглощает часть испарившейся от рыбы влаги, движется к выходу из камеры. На выходе из камеры часть теплоносителя отводится в атмосферу, а большая часть направляется в камеру смешения. В камере смешения отработанный теплоноситель смешивается с порцией свежего воздуха. Свежий воздух подается в количестве равном утилизованному в атмосферу. Далее смесь подогревается с помощью трубчатых электронагревателей и направляется в сушильную установку. Степень рециркуляции воздуха во время обезвоживания n_0 от 3 до 6. Это значит, что количество циркулирующего теплоносителя в установке должно от 3 до 6 раз превышать количество поступающего для смешивания свежего воздуха.

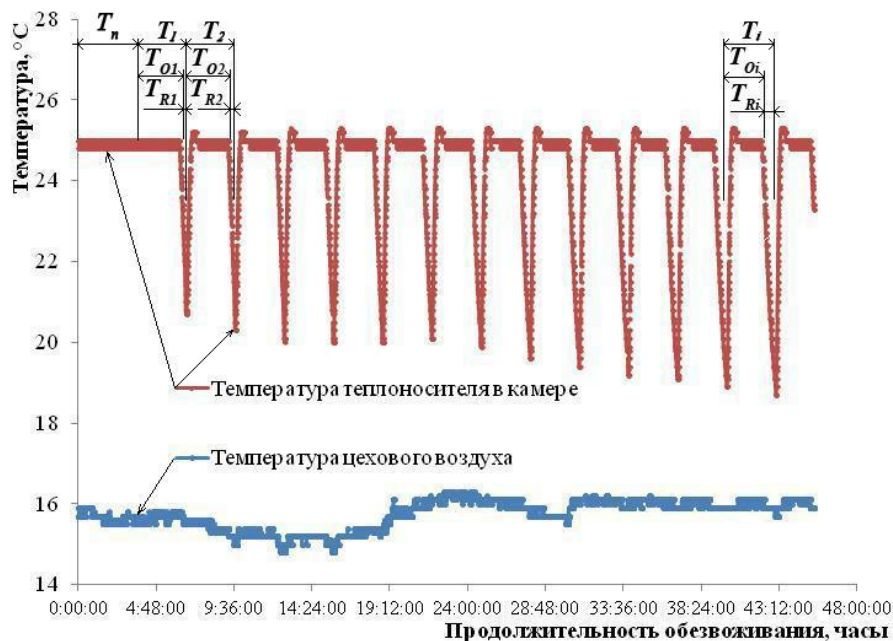


Рис. 1. Изменение температуры теплоносителя в камере при обезвоживании рыбы по предлагаемому способу

Процесс обезвоживания по предлагаемому способу состоит из непрерывной начальной фазы обезвоживания T_n (рис. 1). Продолжительность непрерывной начальной фазы составляет от 3 до 8 часов. После непрерывной начальной фазы T_n весь процесс разбивается на равные по продолжительности промежутки — комбинированные периоды обезвоживания T_1, T_2, \dots, T_i . T_1 — первый комбинированный период обезвоживания, T_2 — второй, и так далее до заключительного периода T_i . Продолжительность комбинированных периодов T принимается в диапазоне от 2 до 6 часов. Для мелкой рыбы и филе значение T принимается от 2 до 4 час, для крупной рыбы — от 4 до 6 час. Каждый комбинированный период состоит из фазы сушки $T_{O1}, T_{O2}, \dots, T_{Oi}$ и релаксации влаги $T_{R1}, T_{R2}, \dots, T_{Ri}$. Продолжительность

фазы релаксации влаги первого периода T_{R1} принимается от 5 до 10 % продолжительности комбинированного периода T . Продолжительность фазы релаксации заключительного периода T_{Ri} принимается от 20 до 40 % продолжительности комбинированного периода T . Постепенное увеличение длительности фазы релаксации от T_{R1} до T_{Ri} осуществляется по линейной зависимости. Увеличение длительности фазы релаксации и сокращение длительности фазы обезвоживания в комбинированном периоде обезвоживания графически представлено на рис. 1. Увеличение фазы релаксации с течением времени процесса обезвоживания связано с существенными потерями влаги поверхностного слоя рыбы и снижением его влагопроводных свойств (Глазунов и др., 2012). С увеличением продолжительности процесса обезвоживания для восстановления диффузионных свойств поверхностного слоя требуется все больше времени, поэтому длительность фаз релаксации возрастает. Во время релаксации выключают нагревательные элементы, устанавливают скорость движения теплоносителя в установке от 0,5 до 1 м/с. В сушильную установку подают цеховой воздух более низкой температуры (на величину от 3 до 10 °С) и более высокой относительной влажности, чем сушильный агент (на величину от 5 до 15 %). Обеспечивается скорость движения теплоносителя в камере от 0,5 до 1 м/с. Степень рециркуляции воздуха во время релаксации n_p от 1,5 до 2,5. Во время релаксации происходит постепенное снижение температуры циркулирующего в камере теплоносителя на величину от 3 до 8 °С.

4. Пример реализации метода

Производство путассу спинки вяленой. Сырье (путассу мороженая неразделанная) подвергают общим операциям (подготовке): размораживание, мойка, разделка на спинку, мойка и сортировка, вкусовой тузлукный посол, ополаскивание, нанизывание рыбы на прутки, стекание, размещение прутков с рыбой на клетях. В сушильную установку загружают клетки с рыбой. Начальная влажность рыбы на сухое вещество – 400 %, удельная поверхность рыбы (отношение площади поверхности рыбы к ее массе) – 0,19 м²/кг. Параметры свежего воздуха для всего процесса: температура $t_{с.в.}$ – от 15 до 16 °С, относительная влажность $\varphi_{с.в.}$ – от 39 до 44 %.

Режим подсушки. Устанавливают режим процесса подсушки: температура теплоносителя $t_{нод} = 25$ °С, скорость движения теплоносителя $v_{нод} = 4$ м/с, продолжительность подсушки $\tau_{нод} = 10$ мин, степень рециркуляции воздуха во время подсушки $n_{нод} = 3$.

Непрерывная начальная фаза T_n . Устанавливают параметры T_n : температура теплоносителя $t_{Tn} = 25$ °С, скорость движения теплоносителя $v_{Tn} = 2,5$ м/с, продолжительность $\tau_{Tn} = 4$ часа, степень рециркуляции воздуха во время непрерывной начальной фазы $n_n = 4$.

После завершения начальной фазы T_n процесс обезвоживания разбивается на комбинированные периоды T . Для данного примера количество комбинированных периодов $i_T = 13$, продолжительность каждого комбинированного периода обезвоживания $\tau_T = 3$ часа.

Первый комбинированный период T_1 .

Фаза обезвоживания T_{o1} первого комбинированного периода T_1 : температура теплоносителя $t_{To1} = 25$ °С, скорость движения теплоносителя $v_{To1} = 2,5$ м/с, продолжительность $\tau_{To1} = 162$ мин (90 % продолжительности T_1), степень рециркуляции воздуха $n_{To1} = 4$.

Фаза релаксации T_{R1} первого комбинированного периода T_1 . Во время релаксации нагревательные элементы установки выключаются. Параметры фазы релаксации T_{R1} : температура теплоносителя в конце релаксации $t_{TR1} = 20,5$ °С, скорость движения теплоносителя $v_{TR1} = 0,5$ м/с, продолжительность $\tau_{TR1} = 18$ мин (10 % продолжительности T_1), степень рециркуляции воздуха $n_{TR1} = 2$.

Далее выполняются последующие комбинированные режимы T_2-T_{12} , параметры которых отличаются лишь продолжительностью фаз обезвоживания, релаксации и температурой теплоносителя в камере в конце релаксации.

Параметры заключительного комбинированного периода обезвоживания T_{13} .

Фаза обезвоживания T_{o13} комбинированного периода T_{13} : температура теплоносителя $t_{To13} = 25$ °С, скорость движения теплоносителя $v_{To13} = 2,5$ м/с, продолжительность $\tau_{To13} = 126$ мин (70 % продолжительности T_{13}), степень рециркуляции воздуха $n_{To13} = 4$.

Фаза релаксации T_{R13} комбинированного периода T_{13} . Во время релаксации нагревательные элементы установки выключаются. Параметры фазы релаксации T_{R13} : температура теплоносителя в конце релаксации $t_{TR13} = 18,5$ °С, скорость движения теплоносителя $v_{TR13} = 0,5$ м/с, продолжительность $\tau_{TR13} = 54$ мин (30 % продолжительности T_{13}), степень рециркуляции воздуха $n_{TR13} = 2$.

На рис. 2 представлены кривые обезвоживания для непрерывного процесса и по предлагаемому способу. Продолжительность обезвоживания составила 45 часов. Темпы обезвоживания данных процессов были практически одинаковыми. Однако для процесса обезвоживания по предлагаемому способу суммарная продолжительность фаз релаксации составила 7,8 часа. В это время питание на трубчатые электрические нагреватели не подавалось. Вентиляторы установки работали в экономичном режиме, обеспечивая скорость потока в камере 0,5 м/с. Затраты электрической энергии по данному режиму составили на 15 % меньше, чем для непрерывного процесса. Для режима с начальной фазой релаксации $T_{R1} = 10$ % и конечной фазой релаксации $T_{R13} = 40$ % (остальные технологические параметры

аналогичны приведенным в примере) затраты электрической энергии составили на 17,5 % меньше непрерывного процесса.

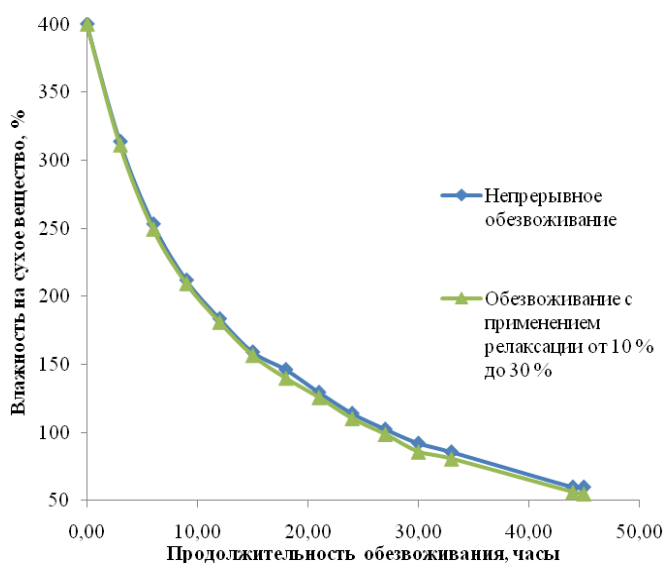


Рис. 2. Кривые кинетики обезвоживания путассу спинки вяленой для непрерывного процесса и с применением релаксации

5. Заключение

Продукция, полученная с применением режимов релаксации, имела более привлекательный внешний вид. Явления деформации тканей рыбы, вызванные обезвоживанием, менее выражены. Таким образом, режимы обезвоживания с фазами релаксации влаги в рыбе позволяют добиваться экономии электрической энергии при сбережении ресурсов работы сушильного оборудования и повышении качества (внешнего вида) готовой продукции.

Предлагаемый способ обезвоживания позволяет сократить затраты электрической энергии при производстве путассу спинки вяленой на 15-17 % без увеличения длительности процесса в сравнении с непрерывным обезвоживанием, увеличить ресурс копильно-сушильных установок за счет более рационального использования теплоносителя, повысить качество выпускаемой продукции за счет снижения явлений деформации в тканях рыбы в результате применения релаксации влаги. Данный способ не требует существенных технических изменений в традиционном технологическом процессе.

Литература

- Артюхова С.А. и др.** Технология рыбы и рыбных продуктов. Учебник для вузов. Под ред. А.М. Ершова. М., Колос, 2010. 1064 с.
- Глазунов Ю.Т. и др.** Элементы теории "пунктирного" обезвоживания в процессах холодного копчения и вяления рыбы. Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 15-20.

References

- Artyukhova S.A. et al.** Tehnologiya ryby i rybnyh produktov [Technology of fish and fish products]. Uchebnik dlya vuzov. Pod red. A.M. Ershova. M., Kolos, 2010. 1064 p.
- Glazunov Yu.T. et al.** Elementy teorii "punktirnogo obezvozhivaniya v protsessah holodnogo kopcheniya i vyaleniya ryby [Elements of the theory of "dotted" dehydration process of fish cold smoking and drying]. Vestnik MGTU. 2012. T. 15, N 1. P. 15-20.

Информация об авторе

Ершов Михаил Александрович – Естественно-технологический институт МГТУ, кафедра технологий пищевых производств, канд. техн. наук, стар. науч. сотрудник, e-mail: ershovma@mstu.edu.ru

Ershov M.A. – Institute of Natural Science and Technology MSTU, Department of Food Production Technology, Cand. of Tech. Sci., Senior Research Associate, e-mail: ershovma@mstu.edu.ru