

УДК 664.047

Особенности процесса сушки рыбы в теплонасосной сушильной установке

А.Э.Суслов, В.Н.Эрлихман, Ю.А.Фатыхов, А.С.Бестужев
sergs533@mail.ru

Калининградский государственный технический университет

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено саморегулирование процесса сушки рыбы в теплонасосной сушильной установке. Экспериментально подтвержден регулярный режим процесса сушки в сушильных установках с тепловым насосом в составе системы воздухоподготовки.

Ключевые слова: процесс сушки, тепловой насос, регулярный режим.

The peculiar features of drying fish in a heat pump dryer

A.Suslov, V. Aerlichman, J. Fatyhov, A.Bestuchev sergs533@mail.ru

Kaliningrad State Technical University

Self-regulation of process of fish's drying in the heat pump dryer is theoretically proved and experimentally confirmed. The regular rate of process of drying in dryer installations with the heat pump as a part of air handling system is experimentally confirmed.

Keyword: drying process, heat pump, regular rate.

В процессе приготовления сушеной и вяленой рыбопродукции в камере должны устанавливаться и длительное время поддерживаться определенные параметры воздушной среды: температура, влажность и скорость. При сушке любых продуктов, в том числе рыбы, наблюдается явление падения скорости

сушки при пересушивании поверхностного слоя. Это объясняется его уплотнением и увеличением сопротивления диффузии влаги к поверхности. Очевидно, что для интенсификации процесса сушки продуктов необходимо обеспечить максимальное значение величин внешнего и внутреннего массопереноса, сохраняя их равенство.

Возможны несколько вариантов работы сушильной установки:

- с регулированием параметров воздуха (температуры, скорости и влажности) в зависимости от влажности поверхностных слоев рыбы;
- создание максимально «жестких» режимов (предельно высокой для данного вида рыбы температуры и минимальной влажности воздуха);
- без регулирования параметров воздуха и их самоустановление в процессе сушки.

Регулирование процесса первым способом достаточно сложно, так как практически осуществить программное регулирование процесса, ввиду специфичности рыбы, как объекта сушки, является весьма трудной задачей, а сушка при максимально «жестких» режимах требует значительных затрат энергии, следовательно неэкономична. В этой связи представляет интерес процесс без регулирования параметров, которые будут самоустанавливаться в процессе сушки рыбы. Таким свойством обладает система воздухоподготовки сушильной установки с тепловым насосом (ТНУ), входящим в ее состав (рис.1).

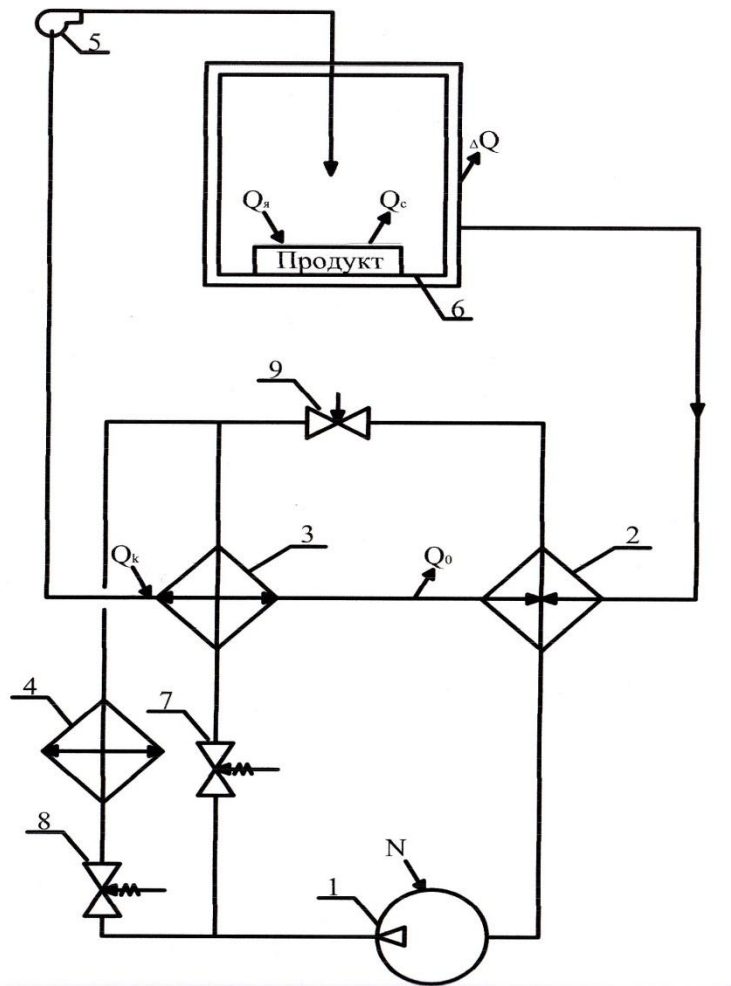


Рис.1. Схема циркуляции воздуха в сушильной установке с тепловым насосом. 1- компрессор, 2- воздухоохладитель, 3- конденсатор, 4- дополнительный конденсатор, 5- вентилятор, 6- сушильная камера, 7,8 – электромагнитные вентили, 9 –регулирующий вентиль.

В ТНУ при использовании её в системе подготовки рециркулирующего воздуха сушильной установки, к воздуху подводится теплота Q_k в конденсаторе теплонасосной установки, отводится теплота Q_0 в воздухоохладителе и затрачивается мощность N компрессора на нагревание воздуха. Часть теплоты ΔQ теряется в окружающую среду. Между воздухом и влажной поверхностью продукта имеет место обмен «явным» $Q_я$ теплом, передаваемым от теплого воздуха с температурой $t_в$, продукту с температурой поверхности $t_п$ и «скрытым» теплом $Q_с$, отдаваемым продуктом воздуху с испаренной влагой, которые соответственно равны:

$$Q_{\text{я}} = \alpha (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) F, \quad (1)$$

$$Q_{\text{с}} = r_{\text{тп}} \beta_{\text{р}} (p_{\text{п}} - p_{\text{в}}) F = r u, \quad (2)$$

где: α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

F - поверхность теплообмена продукта, м²;

r - теплота парообразования воды при температуре поверхности продукта $t_{\text{п}}$, Дж/кг;

$\beta_{\text{р}}$ - коэффициент испарения, кг/(с·м²·Па);

$p_{\text{п}}$ и $p_{\text{в}}$ - парциальное давление насыщенного водяного пара над поверхностью продукта и в воздухе, Па;

u - скорость сушки, кг/с, равная:

$$u = \beta_{\text{р}} (p_{\text{п}} - p_{\text{в}}) F, \quad (3)$$

Таким образом, тепловой баланс сушильной установки с ТНУ имеет вид:

$$N = Q_{\text{к}} - Q_{\text{о}} = \Delta Q + \alpha (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) F - r u, \quad (4)$$

Левая часть уравнения (4) согласно тепловому балансу ТНУ представляет мощность, затрачиваемую на привод компрессора N , которая зависит от вида хладагента, термодинамического цикла работы ТНУ, типа компрессора и других факторов и составляет приблизительно (0,2...0,3) $Q_{\text{о}}$.

Тогда, выражение (4) примет вид:

$$(0,2 \dots 0,3) Q_{\text{о}} = \Delta Q + \alpha (t_{\text{в}} - t_{\text{п}}) F - r_{\text{тп}} u, \quad (5)$$

Выражение (5) отражает факт самоустановления параметров воздуха в сушильной установке с тепловым насосом.

Как показано в работе [3], в процессе сушки продукта происходит повышение температуры его поверхности t_n , которая становится практически равной температуре воздуха и уменьшению скорости испарения влаги u , что приводит, как следует из теплового баланса (5), к изменению тепловой нагрузки на ТНУ- Q_0 .

Из теории холодильных машин и тепловых насосов известно, что при понижении Q_0 повышается степень сжатия p_k/p_0 , а соответственно, мощность, затрачиваемая на сжатие паров хладагента и температура нагнетания, вследствие чего увеличивается количество подводимой к продукту теплоты Q_y . При этом процесс удаления влаги из продукта интенсифицируется, т.е. возникает процесс, препятствующий уменьшению скорости сушки u .

С целью подтверждения саморегулирования параметров воздуха в сушильной установке с использованием ТНУ проведены экспериментальные исследования процесса сушки рыбы в теплонасосной установке. На рис.2 приведены кривые сушки различных видов рыб. Как видно из рисунка, изменение влагосодержания рыбы сохранялась практически постоянной на протяжении всего периода сушки.

Массоперенос при вялении рыбы, как показано в работе [2], математически может быть описан уравнением аналогичным уравнению теплопроводности:

$$\partial U / \partial \tau = \alpha_m \nabla^2 U, \quad (6)$$

где: α_m - коэффициент диффузии m^2/s , U - влагосодержание рыбы $kg_{\text{влаги}}/kg_{\text{сух.вещ.}}$, ∇^2 – оператор Лапласа.

Решение уравнения (6) известно из теории теплопередачи [1]. Очевидно, что как и в процессе теплопередачи, в процессе сушки в определенный момент времени наступает регулярный режим, который определяется темпом сушки m :

$$\partial U / \partial \tau = m = \text{const} \quad (7)$$

При наступлении регулярного режима темп сушки остается постоянным во всех точках объема рыбы и характеризует относительную скорость изменения влагосодержания рыбы и зависит только от ее физических свойств, состояния поверхности, формы и размеров. Экспериментально определив изменение влагосодержания рыбы во времени (рис.2), темп сушки при регулярном режиме рассчитываем по выражению:

$$(\ln U_1 - \ln U_2) / (\tau_1 - \tau_2) = m = \text{const} \quad (8)$$

Зависимость темпа сушки от времени приведена на рис.3. Как видно из рис.3, в теплонасосной сушильной установке регулярный режим сохраняется в течении всего периода сушки. Вследствие самоустановления параметров воздуха в теплонасосной сушильной установке процесс сушки рыбы протекает при регулярном режиме характерном для всех исследованных видов рыб.

Отметим, что темп сушки рыбы при регулярном режиме процесса, обеспечиваемый самоустановлением параметров воздуха в теплонасосной сушильной установке, зависит только от вида рыбы. При этом продолжительность процесса сушки сокращается в среднем на 20...30% по сравнению с традиционными типами установок для сушки и вяления рыбы.

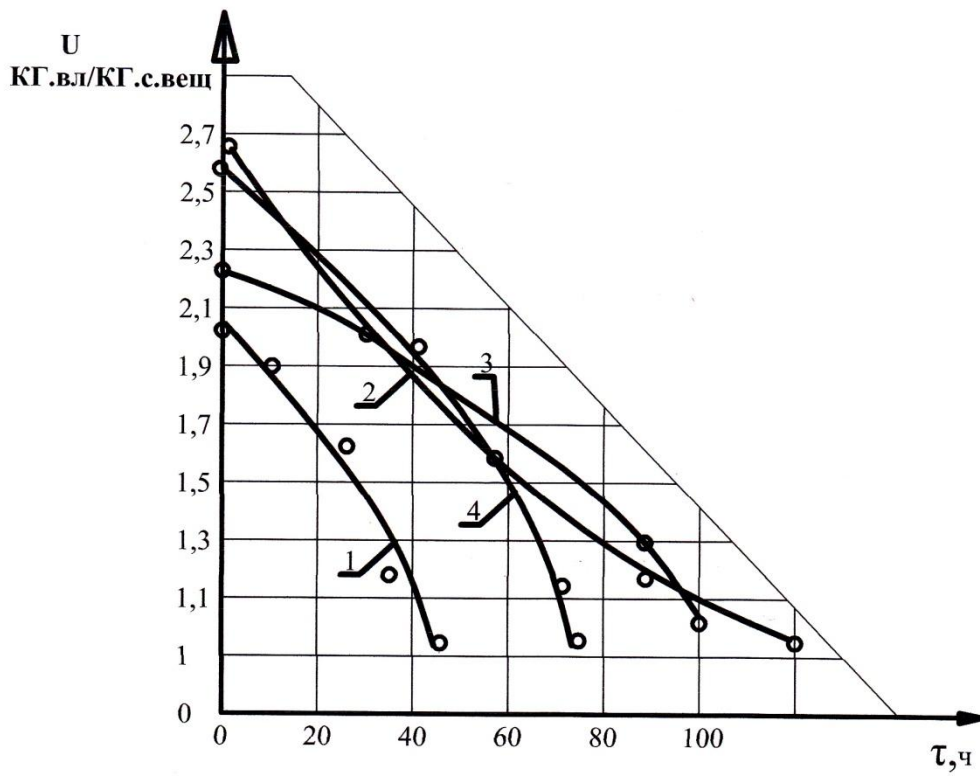


Рис.2. 1- мойва, 2-окунь, 3- ставрида, 4- вомер.

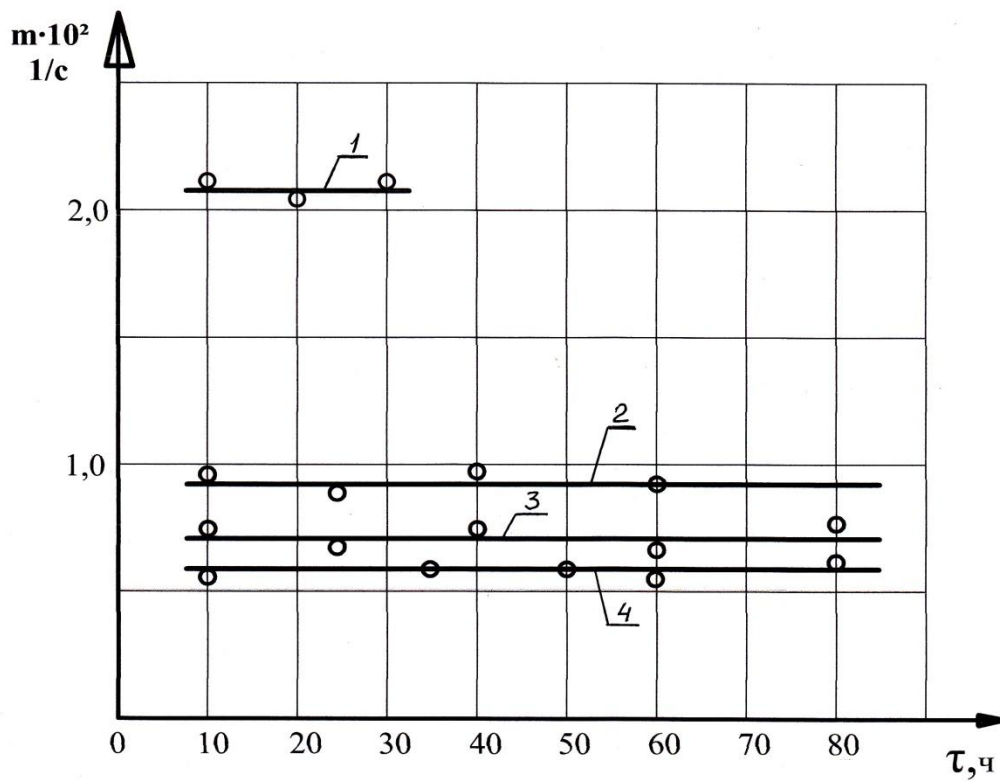


Рис.3. 1- мойва, 2- окунь, 3- ставрида, 4- вомер

Список литературы

1. Исаченко В.П. Теплопередача: Учебник для вузов /В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомел. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.:Энергоиздат-1981.- 416с.
2. Суслов А.Э. Особенности массопереноса при сушке рыбы /А.Э.Суслов, В.Н.Эрлихман, Ю.А.Фатыхов, В.В. Попов, Е.Е. Иванова – Известия ВУЗов. Пищевая технология- 2007.- №2.- с.56-57.
3. A.Suslov, J.Fatychov, V.Erlichman. The peculiar features of the drying process in the heat pump drying installation: Научный журнал СПбГУНИПТ. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал) /ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий.» . выпуск №2. сент. 2009. Режим доступа к журн.: <http://www.open-mechanics.com/journals> свободный.