

**МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ
РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СУШКИ БЫЧКОВ**

УДК 631.563.2.003.13:[631.53.01:635.623]

Стручаев Н.И., к.т.н.,

Ялпачик В.Ф., д.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел (0619)42-13-06

Аннотация – рассмотрен процесс сушки бычков в рециркуляционной сушилке с использованием элементов холодильной машины.

Ключевые слова – процесс сушки бычков, рециркуляционная сушилка, использование элементов холодильной машины, испаритель парокompрессионной холодильной машины, конденсатор парокompрессионной холодильной машины, влажность воздуха.

Постановка проблемы. Использование для рециркуляционной сушки бычков, элементов холодильной машины позволит сократить расход электроэнергии, учитывая, что, например, холодильный коэффициент составляет 2,5...5, а у лучших установок до 8. [1]. Это значит, что можно сэкономить 40...80 процентов тепловой энергии, затрачиваемой на сушку.

Анализ последних достижений. Работа посвящена рассмотрению вопроса подготовки сушильного агента путем уменьшения его влагосодержания. Поскольку дополнительный охладитель-осушитель выполняет технологический прием уменьшения влагосодержания сушильного агента, что влияет на последующие операции и их результат, то его роль связана с основным технологическим процессом сушки.

Существуют различные конструкции сушильных аппаратов для рыбной продукции [1,4], но они не охватывают всего диапазона изменения параметров сушильного агента.

К настоящему времени, достаточно полно охвачены обычные сушильные установки, а сушильные установки щадящей сушки представлены незначительно.

Формулировка целей статьи. Основная цель статьи – представить последовательность расчета процесса сушки бычков.

Задача работы состоит в том, чтобы предложить методику определения количества влаги, которое удаляется из сушильного агента, в данном случае воздуха, который используется для сушки бычков и расчета количества энергии, необходимой для её удаления путем использования рециркуляционной сушильной установки. Дать основные параметры рециркуляционной сушильной установки, что позволит выполнить расчет процесса сушки бычков.

Основная часть. Предлагаем рециркуляционную сушилку для бычков, которая состоит из вентилятора, холодильной машины, дополнительного охладителя-осушителя (испарителя холодильной машины), патрубка для отвода конденсата, вентиляционного короба (воздухопровода для подсоединения дополнительного охладителя-осушителя к воздухоподогревателю), воздухоподогревателя (конденсатора холодильной машины), дополнительного конденсатора (вынесенного за пределы системы вентиляции помещения сушильных камер) и корпуса помещения сушильных камер (рис.1).

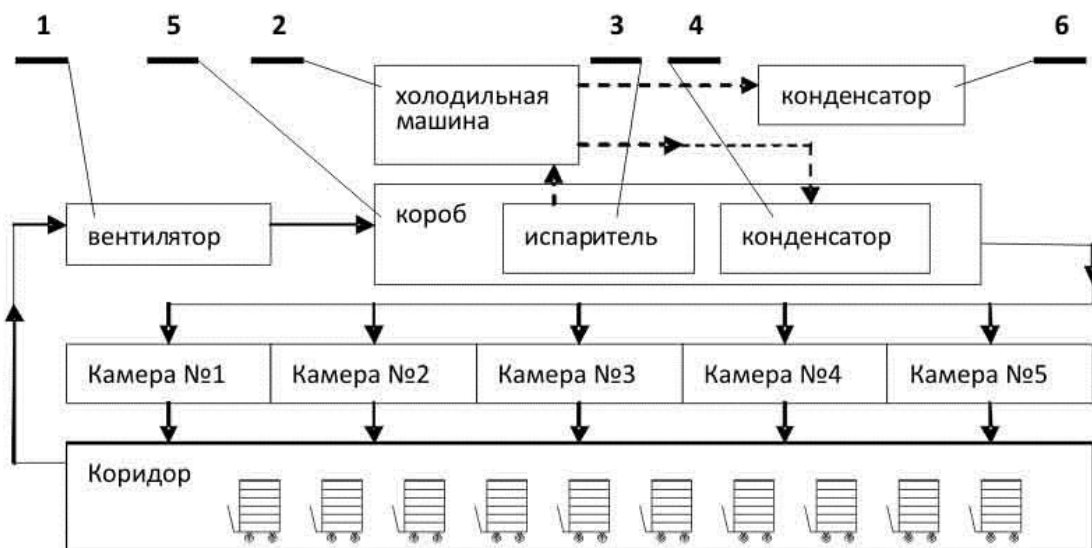


Рис. 1. Схема расстановки оборудования подготовки воздуха при замкнутом цикле: 1 - вентилятор высокого давления, 2 - холодильная машина, 3 - дополнительный охладитель-осушитель (испаритель холодильной машины), 4 - конденсатор (воздухоподогреватель), 5 - вентиляционный короб, 6 - дополнительный конденсатор (вынесен за пределы системы вентиляции помещения сушильных камер).

Рециркуляционная сушилка для бычков работает таким образом. Воздух, под действием вентилятора, через дополнительный охладитель-осушитель движется в воздухоподогреватель. Дополнительный охладитель-осушитель, выполнен в виде испарителя холодильной машины. При снижении температуры ниже точки росы, после дополнительного охладителя-осушителя, избыточная влага

выпадает в виде конденсата водяных паров и отводится при помощи патрубка для отвода конденсата, который расположен в нижней точке воздухопровода, служащего для подсоединения дополнительного охладителя-осушителя к воздухоподогревателю. Воздух, из которого удалена часть влаги, попадает в воздухоподогреватель, выполненный в виде конденсатора холодильной машины. Подогретый в воздухоподогревателе воздух с низкой относительной влажностью, поступает по патрубку через диффузор под сетчатую основу стеллажей с бычками в корпусе помещений сушильной камеры, где, благодаря низкой относительной влажности воздуха, из бычков удаляется часть влаги и отводится потоком воздуха.

Рециркуляционная сушилка предназначена для непрерывной сушки бычков или другой рыбы. Эксплуатация сушилки производится в закрытых помещениях с установкой вентиляционного воздухоотсасывающего оборудования.

Агентом сушки является горячий воздух. Нагрев сушильного агента производится в теплогенераторе, в качестве которого используется конденсатор холодильной машины. При использовании холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса для подогрева сушильного агента, появляется возможность использовать тепловую энергию, выделяющуюся при конденсации паров воды, содержащихся в исходном воздухе, которая суммируется с энергией паров холодильного агента в компрессоре холодильной машины.

Для определения количества воды, которое удаляется из воздуха, используемого для сушки бычков или другой рыбы в дополнительном охладителе-осушителе и расчета уменьшения количества энергии, необходимой для сушки, по сравнению с обычной сушилкой, необходимо задаться следующими условиями: для сушки используем атмосферный воздух при начальной температуре $t_1 = 20$ °С и влажности $\varphi_1 = 60$ %. Дальнейший расчет выполняем по *Hd*-диаграмме влажного воздуха.

1. По *Hd*-диаграмме находим точку «1» на пересечении линий $t_1=20$ °С и $\varphi_1=60\%$ и для неё определяем влагосодержание (содержание воды в кубометре воздуха) равное $d_1 = 10$ граммов на кг воздуха и энтальпию $H_1= 42$ кДж/кг.

Из точки «1» проводим линию $d_1 = \text{const}$ до пересечения с линией $\varphi = 100\%$. Это будет точка росы 1'. От точки 1' по линии $\varphi = 100\%$ опускаемся до пересечения с изотерой $t_2= 3$ °С получим точку «2». Точка пересечения «2» характеризует состояние воздуха на выходе из дополнительного охладителя-осушителя. В дополнительном охладителе-осушителе, выполненном в виде испарителя холодильной машины, воздух охлаждается ниже точки росы до температуры

$t_2 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность его повышается до $\varphi_2 = 100\%$. При этом его влагосодержание будет равно $d_2=4,7$ г/кг, а энтальпия $H_2 = 18$ кДж/кг.

Уменьшение влагосодержания составит

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 10 - 4,7 = 5,3 \text{ г/кг.}$$

2. То есть, при прохождении одного килограмма воздуха через дополнительный охладитель-осушитель, выполненный в виде испарителя холодильной машины, из него удаляется 5,3 грамма воды в виде конденсата.

3. Из точки «2» проводим линию $d_1 = 4,7$ г/кг = const до пересечения с изотермой $t_3 = 25^\circ\text{C}$, получим точку «3». Точка пересечения «3» характеризует состояние воздуха на выходе из теплогенератора, в качестве которого используется конденсатор холодильной машины. Для неё определяем влагосодержание равное $d_3 = 4,7$ граммов на кг воздуха и энтальпию $H_3 = 58$ кДж/кг, влажность воздуха понижается до $\varphi_3 = 7,5\%$.

4. Из точки «3» проводим линию $H_3 = 58$ кДж/кг = const до пересечения с линией постоянной относительной влажности $\varphi_4 = 95\%$, получим точку «4». Точка «4» характеризует состояние воздуха на выходе из сушильной камеры. При этом его влагосодержание будет равно $d_4=15$ г/кг, а энтальпия $H_4 = 58$ кДж/кг.

Определяем изменение влагосодержания влажного воздуха, относительно 1 кг сухого воздуха в процессе сушки.

$$\Delta d = d_4 - d_3 = 15 - 4,7 = 12,3 \text{ грамм/кг.}$$

То есть, 1 килограмм воздуха может забрать из бычков 12,3 грамма воды и удалить её в виде водяного пара (очень важно, чтобы пар не сконденсировался в сушилке или на её выходе и не увлажнил бычки, поэтому его относительная влажность должна быть не выше $\varphi_4 = 95\%$).

Аналогично выполняем расчеты для процесса сушки в сушилках без предварительного осушения воздуха. Результаты расчетов процесса сушки в сушилках без предварительного осушения воздуха и в предлагаемой сушилке с предварительным осушением воздуха представим в виде таблицы 1.

Таблиця 1 – Результати расчета процесса сушки бычков

Величины	Температура, t °С	Относительная влажность, ϕ %	Влаго содержание, d , г/кг	Изменение влаго содержания, Δd , г/кг	Энтальпия, H , кДж/кг	Изменение Энтальпии, ΔH , кДж/кг
Номер точки						
1 с осушением	20	60	10	нет	42	нет
2 с осушением	3	100	4,7	5,3	18	-24
3 с осушением	45	7,5	4,7	нет	58	+ 40
4 с осушением	22	95	15	12,3	58	нет
1 без осушения	20	60	10	нет	42	нет
2 без осушения	нет	нет	нет	нет	нет	нет
3 без осушения	45	15	10	нет	63	+21
4 без осушения	24	95	18	8	63	нет

5. Определяем увеличение производительности по отобранной из бычков влаги в сушилке с предварительным осушением воздуха в сравнении с обычной сушилкой

$$k = \frac{d_{\text{новый}} - d_{\text{обычный}}}{d_{\text{новый}}} \cdot 100 = \frac{12,3 - 8}{12,3} \cdot 100 = 35\%.$$

6. Определяем расход теплоты на нагрев 1 кг воздуха в сушилке без предварительного осушения

$$q_{\text{обычн}} = \Delta H_{\text{обычн}} = H_{3\text{обычн}} - H_{1\text{обычн}} = 63 - 42 = 21 \text{ кДж / кг.}$$

7. Определяем расход теплоты на нагрев 1 кг воздуха в сушилке с предварительным осушением

$$q_{\text{новый}} = \Delta H_{\text{новый}} = H_{3\text{новый}} - H_{2\text{новый}} = 58 - 18 = 40 \text{ кДж / кг.}$$

8. Определяем количество тепловой энергии отобранной у исходного воздуха в дополнительном охладителе-осушителе, выполненном в виде испарителя холодильной машины

$$q_{\text{новый отобр}} = \Delta H_{\text{доп охлад}} = H_{1\text{новый}} - H_{2\text{новый}} = 42 - 18 = 24 \text{ кДж / кг.}$$

9. Определяем количество энергии, затрачиваемой в компрессоре холодильной машины

$$q_{\text{компр}} = h_2 - h_1 = 570 - 540 = 30 \text{ кДж / кг.}$$

10. Определяем количество энергии, отдаваемой нагреваемому воздуху в конденсаторе холодильной машины

$$q_{\text{конд}} = h'_2 - h_1 = 560 - 430 = 130 \text{ кДж / кг.}$$

11. Определяем количество тепловой энергии идущей на сушку бычков

$$q_{\text{сушки}} = q_{\text{компр}} + q_{\text{конд}} = 30 + 130 = 160 \text{ кДж / кг.}$$

12. Определяем долю энергии, затрачиваемой в компрессоре холодильной машины

$$r = I_{\text{компр}} / q_{\text{сушки}} = 30 / 160 = 0,19.$$

13. Определяем расход энергии, затрачиваемой в компрессоре холодильной машины, для нагрева 1 кг воздуха в сушилке с предварительным осушением

$$q_{\text{новый}} = \Delta H_{\text{новый}} = \Delta H_{\text{новый}} \cdot r = 40 \cdot 0,19 = 7,6 \text{ кДж / кг.}$$

14. Определим экономию энергии, затрачиваемой на сушку бычков в сушилке с предварительным осушением воздуха в сравнении с обычной сушилкой

$$q_{\text{эк. новый}} = (q_{\text{обычн}} - q_{\text{новый}}) / q_{\text{обычн}} \cdot 100\% = (12,8 - 7,6) / 12,8 \cdot 100 = 40,6\%.$$

Выводы. Таким образом после исследования предложенной методики можно сделать следующие выводы.

1. Методика может быть использована для практического применения при расчете сушки бычков или другой рыбы.

2. Увеличение производительности по отобранной из бычков влаги в сушилке с предварительным осушением воздуха в сравнении с обычной сушилкой составляет около 35 %.

3. Экономия энергии, затрачиваемой на сушку бычков или другой рыбы в сушилке с предварительным осушением воздуха по сравнению с обычной сушилкой более 40 %.

4. Кроме того с целью сохранения ценных питательных веществ рыбы, температура сушки должна быть от 21 до 30 градусов.

5. Оптимальная относительная влажность воздуха, для процесса сушки рыбы, лежит в пределах 50-70%. Причём, в начале сушки необходима более высокая влажность, а в конце - более низкая.

6. Чтобы разность парциальных давлений оставалась на нужном уровне, необходимо непрерывное удаление водяных паров из сушильного агента (воздуха). Делают это с помощью искусственной циркуляции воздуха со скоростью 0,5 м/с через испаритель холодильной машины. Если увеличить скорость, то процесс сушки будет идти слишком интенсивно, если уменьшить – слишком медленно.

7. Чтобы дать влаге равномерно распределиться по всему объёму рыбы, процесс сушки периодически останавливают. Остановки можно делать вручную или автоматически через заданные промежутки времени. За время таких остановок, происходит перераспределение влаги между слоями продукта с разным влагосодержанием. (Нагрев до $+25^{\circ}\text{C}$, охлаждение до $+3...10^{\circ}\text{C}$).

8. Отвод влаги из сушильной камеры при охлаждении происходит на поверхности испарителя холодильной машины.

9. Загрузка только что оттаявшей рыбы очень сильно удлиняет процесс. Для ускорения процесса, рыбу необходимо предварительно нагреть до температуры в камере.

10. Если в камере нет потерь (то есть, если она герметична и теплоизолирована) необходимо делать проветривание свежим воздухом для понижения температуры и предотвращения появления затхлого запаха.

Литература:

1. *Дацишин О.В.* Машины та обладнання переробних виробництв / О.В. Дацишин та ін. – К.: Вища освіта, 2005. – 155 с.

2. *Николаев Б.А.* Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов / Б.А. Николаев. – М.: Экономика, 1964. – 224с.

3. *Лыков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.

4. *Гинзбург А.С.* Сушка пищевых продуктов. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 376 с.

ВИКОРИСТАННЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНОГО СУШІННЯ БИЧКІВ

Стручаев М.І., Ялпачик В.Ф.

Анотація - розглянуто процес сушіння бичків в рециркуляційній сушарці з використанням елементів холодильної машини.

USING REFRIGERATE MASHIN FOR RECILKULATE DRYING OF FISH

M. Struchayev, V. Yalpachyk

Summary

In this work the drying of fish with the use of refrigerate mashin for recilkulate drying is considered.