

УДК 664.834

АБСОРБЦИОННАЯ СУШИЛКА ДЛЯ СОЧНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ

Стручаев Н.И., к.т.н.

Григоренко Е.В., к.т.н.

Загорко Н.П., к.т.н., член-кор. МААО

Таврический государственный агротехнологический университет

г. Мелитополь, Украина

Тел. +380619448103; +380619420001

Аннотация. В работе рассмотрена подготовка сушильного агента, повышающая эффективность процессов сушки сочных растительных продуктов с использованием абсорбционной сушилки. Предложена методика определения количества воды, которое предварительно удаляется из воздуха, используемого для сушки, и расчета количества энергии, необходимой для её удаления, с помощью энергоэффективной сушильной установки. Даны основные конструктивные параметры энергоэффективной сушильной установки на базе абсорбционной холодильной машины.

Ключевые слова: абсорбционная сушилка для сушки сочных растительных продуктов, сушка, дополнительный охладитель-осушитель, испаритель абсорбционной холодильной машины, конденсатор абсорбционной холодильной машины, пищевая ценность продукции.

Постановка проблемы. В настоящее время вопрос экономии энергоресурсов является весьма актуальным. Использование в качестве установки для сушки плодов, овощей и других сочных растительных продуктов элементов абсорбционной холодильной машины приобретает важное значение, учитывая, что, например, холодильный коэффициент составляет 2,5...5, а у лучших установок – до 8 [3]. Это означает, что можно сэкономить 60...80 % тепловой энергии, затрачиваемой на сушку.

Для продолжительной сохранности овощей, фруктов и другой сочной растительной продукции необходима специальная обработка с целью предупреждения их порчи. Есть много способов сохранения – это консервирование, замораживание, сушка [1, 4, 6].

В свежих овощах и фруктах содержится до 80 % влаги. Конечная влажность в высушенном продукте регулируется в зависимости от его вида и технологии сушки: в плодах допускается влажность до 10...25 %, овощах – до 14 %. Высушенные фрукты и овощи занимают меньший объем, имеют меньший вес и, следовательно, более выгодны при перевозке на большие расстояния [2, 5, 7].

В процессе сушки растительных продуктов частично теряются содержащиеся в них питательные вещества, и это приводит к уменьшению пищевой ценности продукции. С целью сохранения витаминов и других биологически ценных компонентов плодов, овощей и других сочных растительных продуктов, температура сушки их должна быть значительно ниже, чем при сушке зерна или других менее влажных продуктов, а именно, 40...45 °C [2, 5, 7].

Поэтому, одной из основных предварительных операций перед сушкой является удаление влаги из сушильного агента и снижение его температуры. Это можно достичь последовательным пропусканием атмосферного воздуха через испаритель и конденсатор абсорбционной холодильной машины.

Анализ последних исследований и публикаций. Работа посвящена рассмотрению вопроса подготовки сушильного агента путем снижения его влагосодержания и температуры. Поскольку дополнительный охладитель-осушитель выполняет технологический прием снижения влагосодержания сушильного агента, влияющий на последующие операции и их ре-

патрубка; диффузора; решетчатой основы и корпуса сушильной камеры (рис. 1).

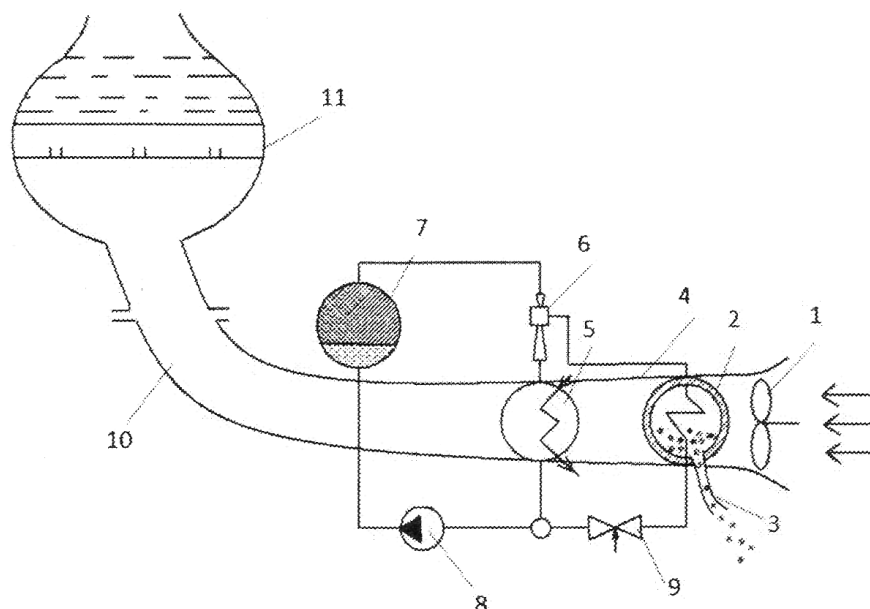


Рисунок 1 – Схема абсорбционной сушилки для сушки плодов, овощей и других сочных растительных продуктов: 1 - вентилятор, 2 - дополнительный охладитель-осушитель (испаритель холодильной машины), 3 - патрубок для отвода конденсата, 4 - воздухопровод для подсоединения дополнительного охладителя-осушителя к воздухоподогревателю, 5 - воздухоподогреватель (конденсатор холодильной машины), 6 - генератор; 7 - абсорбер; 8 - насос, 9 - терморегулирующий вентиль, 10 - патрубок; 11 - решетчатая основа сушильной камеры

Абсорбционная сушилка для сушки плодов, овощей и других сочных растительных продуктов работает таким образом. Воздух, под действием вентилятора 1, через дополнительный охладитель-осушитель 2 движется в воздухоподогреватель 5, дополнительный охладитель-осушитель выполнен в виде испарителя абсорбционной холодильной машины. При снижении температуры ниже точки росы, после дополнительного охладителя-осушителя 2, избыточная влага выпадает в виде конденсата водяных паров и отводится при помощи патрубка для отвода конденсата 3, который расположен в нижней точке воздухопровода 4, служащего для подсоединения дополнительного охладителя-

осушителя 2 к воздухоподогревателю 5. Воздух, из которого удалена часть влаги, попадает в воздухоподогреватель 5, выполненный в виде конденсатора абсорбционной холодильной машины, подогретый в воздухоподогревателе 5 воздух с низкой относительной влажностью поступает по патрубку 10 через диффузор под решетчатую основу 11 корпуса сушильной камеры, где, благодаря низкой относительной влажности воздуха, из фруктов и овощей удаляется часть влаги и отводится потоком воздуха.

Абсорбционная сушилка предназначена для непрерывной сушки плодов, овощей и других сочных растительных продуктов. Эксплуатация сушилки производится в закрытых помещениях с установкой вентиляционного дымо-отсасывающего оборудования. Агентом сушки является горячий воздух. Нагрев сушильного агента производится в теплогенераторе, в качестве которого используется конденсатор абсорбционной 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 генераторе холодильной машины. Высушенный материал удаляется через разгрузочное отверстие.

Для определения количества воды, которое удаляется из воздуха, используемого для сушки сочных растительных продуктов в дополнительном охладителе-осушителе, и расчета уменьшения количества энергии, необходимой для сушки фруктов и овощей путем использования абсорбционной сушильной установки, по сравнению с обычной, необходимо задаться следующими условиями: для сушки используем атмосферный воздух при начальной температуре $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности $\varphi_1 = 60$. Дальнейший расчет выполняем по Hd -диаграмме влажного воздуха.

1. По Hd -диаграмме (рис. 2) находим точку «1» на пересечении линий $t_1=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi_1=60\text{ \%}$ 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.

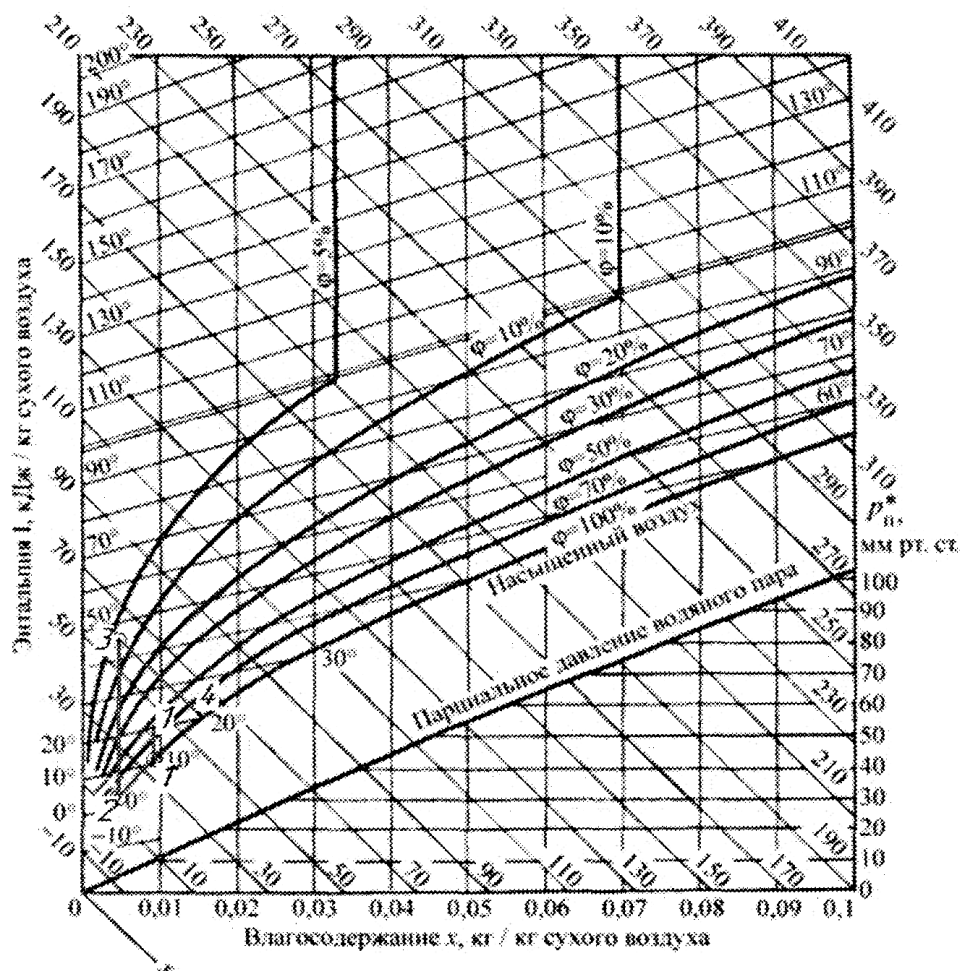


Рисунок 2 – Расчет процесса сушки сочных растительных продуктов по Hd – диаграмме Рамзина

2. 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 $t_2 = 3^\circ\text{C}$ получим точку «2». Точка пересечения «2» характеризует состояние воздуха на выходе из дополнительного охладителя-осушителя. В дополнительном охладителе-осушителе, выполненном в виде испарителя абсорбционной холодильной машины, воздух охлаждается ниже точки росы до температуры $t_2 = 3^\circ\text{C}$, 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

$$\Delta d = d_1 - d_2 = 10 - 4,7 = 5,3 \text{ г/кг.} \quad (1)$$

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

3. Из точки «2» проводим линию $d_1 = 4,7 \text{ г/кг} = \text{const}$ до пересечения с изотермой $t_3 = 45^\circ\text{C}$, получим точку «3». Точка пересечения «3» характеризует состояние воздуха на выходе из теплогенератора, в качестве которого используется конденсатор абсорбционной холодильной машины. Для неё определяем влагосодержание равное $d_3 = 4,7 \text{ г на кг воздуха}$ и энтальпию $H_3 = 58 \text{ кДж/кг}$, влажность воздуха понижается до $\varphi_3 = 7,5 \%$.

4. Из точки «3» проводим линию $H_3 = 58 \text{ кДж/кг} = \text{const}$ 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 $d_4 = 15 \text{ г/кг}$, а энтальпия $H_4 = 58 \text{ кДж/кг}$.

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

$$\Delta d = d_4 - d_3 = 15 - 4,7 = 12,3 \text{ г/кг.} \quad (2)$$

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

Аналогично выполняем расчеты для процесса сушки плодов в сушилках без предварительного осушения воздуха.

Результаты расчетов процесса сушки плодов, овощей и других сочных растительных продуктов в сушилках без предварительного осушения воздуха и в предлагаемой абсорбционной сушилке с предварительным осушением воздуха представим в виде табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета процесса сушки плодов в сушилках без предварительного осушения воздуха и в предлагаемой абсорбционной сушилке с предварительным осушением воздуха

Величины	Температура, $t, ^\circ\text{C}$	Относительная влажность, $\varphi, \%$	Влагосодержание, $d, \text{г/кг}$	Изменение влагосодержания, $\Delta d, \text{г/кг}$	Энтальпия, $H, \text{кДж/кг}$	Изменение энтальпии, $\Delta H, \text{кДж/кг}$
Номер точки						
1 Сушилка с осушением	20	60	10	нет	42	нет
2 Сушилка с осушением	3	100	4,7	5,3	18	-24
3 Сушилка с осушением	45	7,5	4,7	нет	58	+ 40
4 Сушилка с осушением	22	95	15	12,3	58	нет
1 Сушилка без осушения	20	60	10	нет	42	нет
2 Сушилка без осушения	нет	нет	нет	нет	нет	нет
3 Сушилка без осушения	45	15	10	нет	63	+21
4 Сушилка без осушения	24	95	18	8	63	нет

5. Определяем увеличение производительности по отобранной из плодов влаге в абсорбционной сушилке с предварительным осушением воздуха по сравнению с обычной сушилкой:

$$k = \frac{d_{\text{новый}} - d_{\text{обычный}}}{d_{\text{новый}}} * 100 = \frac{12,3 - 8}{12,3} * 100 = 35\% \quad (3)$$

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

$$q_{\text{обычн}} = \Delta H_{\text{воздух}} = H_{3\text{обычн}} - H_{1\text{обычн}} = 63 - 42 = 21 \text{ кДж / кг.} \quad (4)$$

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

$$q_{\text{новый}} = \Delta H_{\text{новый}} = H_{3\text{новый}} - H_{2\text{новый}} = 58 - 18 = 40 \text{ кДж / кг.} \quad (5)$$

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

$$q_{\text{новый отобр}} = \Delta H_{\text{доп охлад}} = H_{1\text{новый}} - H_{2\text{новый}} = 42 - 18 = 24 \text{ кДж / кг.} \quad (6)$$

9. Определяем количество энергии, затрачиваемой в генераторе абсорбционной холодильной машины

$$q_{\text{генерат}} = h_2 - h_1 = 570 - 540 = 30 \text{ кДж / кг.} \quad (7)$$

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

$$q_{\text{конд}} = h'_2 - h_1 = 560 - 430 = 130 \text{ кДж / кг.} \quad (8)$$

11. Определяем количество тепловой энергии, идущей на сушку плодов.

$$q_{\text{сушки}} = q_{\text{генерат}} + q_{\text{конд}} = 30 + 130 = 160 \text{ кДж / кг.} \quad (9)$$

12. Определяем долю энергии, затрачиваемой в генераторе абсорбционной холодильной машины

$$r = I_{\text{компр}} / q_{\text{сушки}} = 30 / 160 = 0,19. \quad (10)$$

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

$$q_{\text{новый}} = \Delta H_{\text{новый}} = \Delta H_{\text{новый}} * r = 40 * 0,19 = 7,6 \text{ кДж / кг.} \quad (11)$$

14. Определим экономию энергии, затрачиваемой на сушку плодов в сушилке с предварительным осушением воздуха по сравнению с обычной сушилкой

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

Пищевая ценность свежих плодов сливы и сушеных в абсорбционной сушилке с предварительным осушением воздуха представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Пищевая ценность свежих и сушеных слив

Сорт	Венгерка Итальянская	Стенлей	Нектар	Легенда	Венгерка Кавказская
Средняя масса свежего плода, г	23,8	34,2	35,9	34,1	29,2
Содержание в свежих плодах, %					
сухих веществ	18,2	19,0	20,2	19,8	23,1
сахаров	10,7	13,6	14,6	12,8	14,2
кислот	0,75	0,73	0,47	0,47	0,48
Средняя масса сухого плода, г	4,5	7,6	7,3	6,3	5,8
Количество мякоти, %	72,3	88,5	89,3	88,0	76,0
Содержание в черносливе, %					
сухих веществ	78,2	83,5	81,2	79,2	84,2
сахаров	38,0	48,0	51,5	50,0	48,0
кислот	4,61	3,12	2,14	2,47	1,82
Дегустационная оценка, баллы	4,1	4,3	4,5	4,5	4,7

Выводы.

1. Предложенная методика может быть использована для практического применения при расчете подготовительных операций перед сушкой плодов, овощей и других сочных растительных продуктов.

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

3. Экономия энергии, затрачиваемой на сушку плодов, овощей и других сочных растительных продуктов в сушилке с предварительным осушением воздуха по сравнению с обычной сушилкой составляет более 40 %. Пищевая ценность сушеных плодов сохраняется на достаточно высоком уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григоренко О.В. Оптимізація елементів технології заморожування плодів сливи: автореф. дис. к.т.н.: спец. 05.18.03 «Первинна обробка та зберігання продукції рослинництва» / О.В. Григоренко. – Херсон: ХНТУ. – 2005. – 20 с.
2. Дикий Н.П. Некоторые особенности термовакuumной сушки / Н.П. Дикий, А.М. Егоров, В.А. Кутовой и др. // Вопросы атомной науки и техники. – 2007. – №4. – С. 53-57.
3. Машини та обладнання переробних виробництв / О.В. Дацишин та ін. – К.: Вища освіта, 2005. – 155 с.
4. Наместников А.Ф. Хранение и переработка овощей, плодов и ягод / А.Ф. Наместников. – М.: Высшая школа, 1972. – 312 с.
5. Попова И.В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: автореф. дис. к.т.н.: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / И.В. Попова. – Мичуринск: МичГАУ. – 2009. – 21 с.
6. Скалецька Л.Ф. Основи наукових досліджень зі зберігання та переробки продукції рослинництва / Л.Ф. Скалецька, Г.І. Подпрятков, О.В. Завадська. – К.: НАУ. – 2006. – 204 с.
7. Скрипников Ю.Г. Инновационные технологии сушки растительного сырья / Ю.Г. Скрипников, М.А. Митрохин, Ю.В. Родионов и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – №3(41). – 2012. – С. 371-376.

BIBLIOGRAPHY

1. Grigorenko O.V. Optimization of freezing fruits plums technology elements: Abstract Dis. PhD: specialty 05.18.03 "The primary processing and storage of crop products" / O.V Grigorenko. - Kherson: KhNTU. - 2005. - 20 s.
2. Dikiy N.P. Some features of the thermal vacuum drying / N.P. Dikiy, A.M. Egorov, V.A. Kutovoj et al. // Problems of Atomic Science and Technology. - 2007. - №4. - S. 53-57.
3. Machinery and equipment of processing production / O.V. Datsyshyn et al. - K.: Higher Education, 2005. - 155 p.

4. Namestnikov A.F. Storage and processing of vegetables, fruits and berries / A.F. Namestnikov. - M.: Higher School, 1972. - 312 p.

5. Popova I.V. Perfection of technology and means of drying vegetable raw materials: Abstract. Dis. PhD: specialty 05.20.01 "Technology and means of mechanization of agriculture" / I.V. Popova. - Michurinsk: MichGAU. - 2009. - 21 p.

6. Skaletska L.F. Bases of scientific researches at storage and processing of plant-grower products / L.F. Skaletska, G.I. Podpryatov, O.V. Zavads'ka. - K.: NAU, 2006. - 24 p.

7. Skripnikov Y.G. Innovative drying technology of plant raw materials / Y.G. Skripnikov, M.A. Mitrokhin, Y.V. Rodionov et al. // Problems of modern science and practice. University named after V.I. Vernadsky. - №3 (41). - 2012. - S. 371-376.

ABSORPTION DRYER FOR JUICY PLANT PRODUCTS

N.I. Struchaev, Y.V. Grygorenko, N.P. Zagorko

Summary

The paper deals with preparation of a drying agent that increases the effectiveness of juicy plant products drying processes by using absorption dryers. The authors propose the method for determining the amount of water that is previously removed from the air, used for drying, and calculating the amount of energy, required for its removal, using an energy-efficient dryer. Basic design parameters of energy-efficient dryer are given based on an absorption chiller.

Key words: absorption dryer for juicy plant products, drying, drier-cooler, evaporator of the absorption chiller, condenser absorption chiller, nutritional value of products.