

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН АМАРАНТА

С.Т. Антипов, А.В. Журавлев, И.М. Черноусов, Е.С. Бунин

ГОУ ВПО «Воронежская государственная технологическая академия», г. Воронеж

Рецензент С.И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: влагосодержание; изотермы; равновесная влажность; энергия связи влаги с материалом.

Аннотация: Получены экспериментальные и теоретические данные равновесной влажности семян амаранта, которые позволяют рассчитать энергию связи влаги с семенами на различных участках влагосодержания, разработать и обосновать эффективный метод сушки.

Изучение форм связей влаги с материалом и равновесной влажности имеет важное теоретическое и практическое значение для исследования процесса сушки семян амаранта и определения оптимальных параметров этого процесса. Наиболее распространенный метод изучения зависимости равновесного влагосодержания от относительной влажности окружающего воздуха основан на анализе изотерм сорбции–десорбции материала, полученных опытным путем и аппроксимированных в виде уравнения

$$W_p = f(\varphi), \quad (1)$$

где W_p – равновесная влажность семян амаранта, %; φ – относительная влажность окружающего воздуха, %.

На рис. 1 представлена схема установки, на которой проводили экспериментальные исследования с целью получения изотерм сорбции.

Установка работает по следующему принципу. Сжатый воздух с заданным влагосодержанием, создавая псевдооживление сыпучих материалов, ускоряет процессы сорбции и десорбции влаги материалом и позволяет быстро определить равновесное влагосодержание продукта, то есть получить информацию для построения изотерм сорбции и десорбции. Сжатый воздух из компрессора 1 с приводом 2 поступает в адсорбционную

Антипов С.Т. – доктор технических наук, профессор, проректор по науке, технике и производству, заведующий кафедрой «Машины и аппараты пищевых производств (МАПП)» ВГТА; Журавлев А.В. – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры МАПП ВГТА; Черноусов И.М., Бунин Е.С. – аспиранты кафедры МАПП ВГТА, г. Воронеж.

колонну 3 с адсорбентом для осушения воздуха, затем в рабочую камеру 4. Из рабочей камеры воздух отводится через патрубок с вентилем 5 в компрессор. При достижении заданной относительной влажности и температуры воздуха адсорбционную колонну отключали вентилями 6, 7 и установку переключали на рабочий режим. Сжатый воздух поступал через ротаметр РС-5 8 в распределительную ячейку 9 с клапанами 10 и стаканчиками 11 с пористыми перегородками для предотвращения уноса материала при его псевдооживлении. Стаканчики с продуктом периодически взвешивали на аналитических весах 12 марки ВЛР-200 с точностью не ниже 10^{-5} г. Регулирование относительной влажности воздуха в камере осуществляли вентилями 6, 7 и 20, сообщающими ее с атмосферой и адсорбционной колонной.

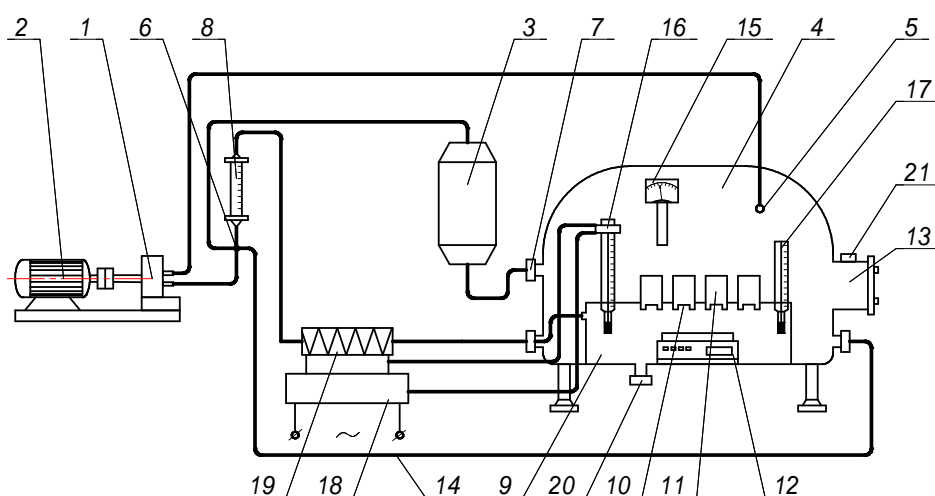


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Рабочая камера представляет собой герметичный бокс с форкамерой 13 из органического стекла. Форкамера и аварийная магистраль 14 для подачи воздуха в рабочую камеру обеспечивали герметичность и бесперебойность процесса при замене исследуемых образцов. Относительную влажность воздуха контролировали волосяным гигрометром 15, а температуру – термометрами 16, 17. Изменение давления в рабочей камере фиксировали чувствительным манометром 21 типа ТНМП-100.

Описанная выше установка позволяет одновременно анализировать 8 образцов. Для исследования температурной зависимости десорбции материалом в рабочей камере предусмотрен контактный термометр 16, подающий сигнал на термореле 18, которое связано с нагревающим элементом 19.

Принцип экспрессного метода заключается в следующем. Навески семян амаранта около 2...5 г с начальным влагосодержанием 0,15...0,17 кг/кг сухого вещества (СВ) помещали в стаканчики, через которые пропускали воздух с относительной влажностью $\varphi = 20-90\%$. Изменяя величину φ при поддержании постоянной температуры, взвешивание навесок с семенами проводили через каждые 30 мин в течение 5–24 ч до уста-

новления равновесной влажности амаранта при заданной относительной влажности воздуха и его температуре. По результатам взвешивания строили изотермы десорбции влаги (рис. 2). Точность измерений равновесной влажности в ходе эксперимента оценивали по критерию Стьюдента. Относительные погрешности при надежности 0,9 и $n = 5$ не превышали 3 %.

Как видно из графиков на рис. 2, полученные изотермы десорбции семян амаранта имеют вид, характерный для изотерм капиллярно-пористых тел. Они представляют собой S-образные плавные кривые без сингулярных точек, что указывает на отсутствие резко выраженных переходов между отдельными стадиями связывания влаги с материалом.

Применяя метод А.В. Лыкова [1], можно дать качественную оценку формам связи влаги с амарантом. На участке кривой $\varphi = 0 \dots 10$ % изотерма обращена выпуклостью к оси абсцисс, что соответствует мономолекуляр-

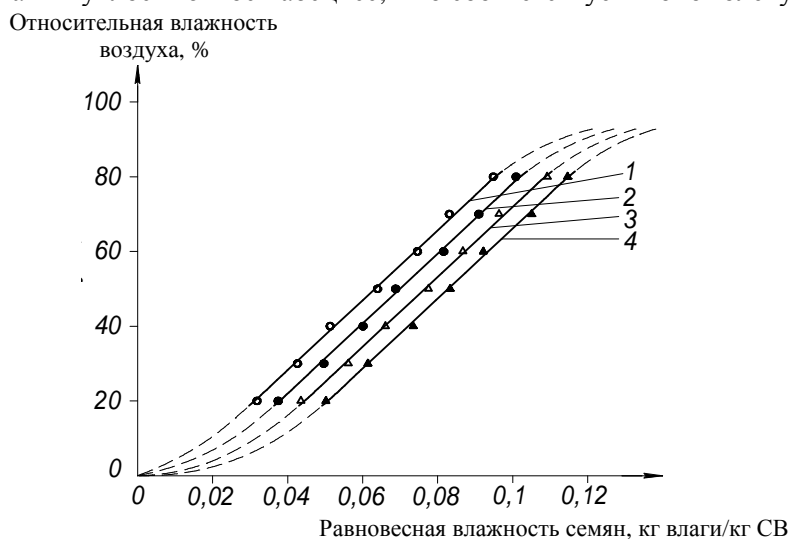


Рис. 2. Изотермы десорбции семян кориандра при температуре воздуха T , К:
1 – 293; 2 – 313; 3 – 333; 4 – 80

но-адсорбционной влаги, энергия связи которой велика. Влагосодержание амаранта, соответствующее мономолекулярной адсорбции, равно 0,03 кг/кг СВ.

В интервале относительной влажности от 10 до 90 % кривая изотермы обращена выпуклостью к оси ординат, что соответствует полимолекулярно-адсорбционной влаги, энергия связи которой значительно меньше, чем в первом случае.

Влияние температуры на равновесную влажность на протяжении всей изотермы объясняется тем, что с увеличением температуры энергия связи влаги с материалом уменьшается. Из анализа форм связей влаги видно, что основная часть влаги в амаранте, которая удаляется при сушке ($U_k = 0,06 \dots 0,08$ кг/кг СВ), является осмотически связанной и капиллярной.

Для математического описания изотерм десорбции семян амаранта воспользуемся уравнением До Суп Чунга и Пфоста [2], которое отражает влияние как температуры, так и влагосодержания материала на величину

относительной влажности газа, находящегося в равновесном состоянии с материалом. Выбор уравнения для описания кривой десорбции материала объясняется, во-первых, его простотой, что значительно облегчает расчеты, и, во-вторых, тем, что в современных аппаратах сушка заканчивается при конечном влагосодержании U_k , значительно превышающем его равновесное значение. В диапазоне $U_{кр} - U_k$ кривую десорбции можно удовлетворительно описать выбранной функцией

$$\varphi(U, T) = \exp\left[-\frac{A}{RT} \exp(-BU)\right], \quad (2)$$

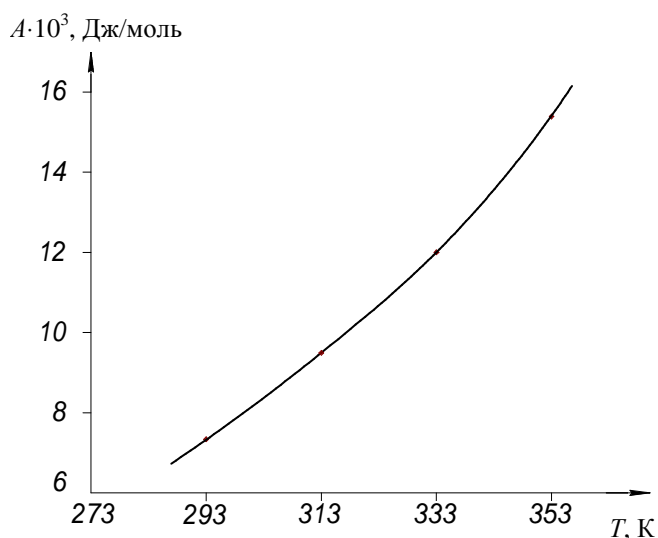


Рис. 3. Зависимость эмпирического коэффициента от температуры

где A , B – эмпирические коэффициенты; R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль·К); T – температура окружающего воздуха, К; U – влагосодержание материала, кг влаги/кг СВ.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что коэффициент $B = 25$ кг СВ/кг и не зависит от температуры, а эмпирический коэффициент A имеет зависимость от температуры, представленную на рис. 3,

$$A = 5791,7e^{0,2433T}. \quad (3)$$

Полученные экспериментальные и теоретические данные равновесной влажности семян амаранта позволяют рассчитать энергию связи влаги с семенами на различных участках влагосодержания, разработать и обосновать эффективный метод сушки.

Список литературы

1. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
2. Мюльбауер, В. Исследование процесса сушки зерна кукурузы в сушилке с параллельными потоками / В. Мюльбауер ; пер. с франц. Н.Н. Угаровой. – М. : ВЦПНТЛД, 1980.

**Research and Analysis of Hygroscopic Properties
of Amaranth Seeds**

S.T. Antipov, A.V. Zhuravlev, I.M. Chernousov, E.S. Bunin

Voronezh State Technological Academy

Key words and phrases: moisture content; isotherms; equilibrium moisture content; energy of moisture and material link.

Abstract: Experimental and theoretical data of equilibrium moisture of amaranth seeds are produced; they enable to calculate energy of the link between moisture and seeds on different moisture content parts, develop and substantiate an effective method of drying.

© С.Т. Антипов, А.В. Журавлев,
И.М. Черноусов, Е.С. Бунин, 2008