

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГЕЛИОСУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И РЕЖИМОВ СУШКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

*К. Арчвадзе, академический доктор, ГГУ
Н. Багдавадзе, академический доктор
Г. Мегрелидзе
И. Чачава*

РЕЗЮМЕ

Энергетические проблемы сушки сельскохозяйственных продуктов отчасти решаются путем создания эффективных гелиосушительных установок.

Сушка – сложный тепломассообменный процесс, который является комплексом трех процессов: конвективной диффузии, диффузии в стесненных условиях капилляров и десорбции влаги, а значит, нуждается в комплексном подходе к его изучению и решению сопутствующих ему проблем.

Из анализа затрат теплоты на удаление 1 кг воды в зависимости от способа сушки и конструкции сушилок в связи с развитием энергосберегающих технологий большой интерес представляет использование г/с установок, в которых сочетаются преимущества различных методов сушки. Ставится задача создания новых г/с установок и усовершенствование уже имеющихся.

* * * * *

Сушка – теплофизический процесс, направленный на удаление влаги из продукта. Однако, процесс сушки сельскохозяйственных продуктов является одновременно и технологическим процессом, при котором необходимо не только удалить излишнюю влагу, но и сохранить питательные вещества и витамины, ароматические и вкусовые качества продукта. В большинстве технологий именно сушка определяет как качество готового продукта, так и энергетические затраты, которые затрачиваются в процессе. При этом, сушка считается наиболее сложным из всех массообменных процессов. Поэтому, многочисленные исследования по теории и технике сушки дают только частные решения отдельного сочетания факторов. Анализ характера развития сушильной техники и литературных источников показывает, что энергетическому анализу сушильной техники уделяется мало внимания.

Традиционные подходы в технологиях сушки столкнулись с непреодолимым противоречием. С одной стороны, для интенсификации процессов тепломассопереноса требуется увеличивать расход сушильного агента, с другой стороны с увеличением расхода теплоносителя, увеличиваются потери тепловой энергии с выбросами установки.

Существует три формы физической связи влаги

с материалом. Разные по физической сути виды связи требуют и разные механизмы их разрыва. В настоящее время созданы новые, перспективные виды оборудования, эффективность работы которых сложно объяснить с позиций современной теории сушки. Процессы удаления влаги из материала часто не соответствуют понятию «сушка», движущие силы этих процессов не отвечают диффузионным принципам; часто, обезвоживание – это комплекс комбинированных, сопряжено протекающих процессов, что требует корректного учета действительных механизмов переноса влаги.

Выдвинута гипотеза, что сушка – это результат действия, на принципе суперпозиции, по меньшей мере, трех процессов: перенос влаги с поверхности твердого тела, перенос влаги в стесненных условиях капилляров и десорбция влаги. Каждый из этих процессов характеризуется своим значением движущей силы и кинетическим коэффициентом скорости процесса.

Технологии сушки должны совершенствоваться в рамках отмеченных выше проблем на основе интенсификации и принципов системной оптимизации, удачного использования современных средств теплопередачи с учетом специфики режимов сушки.

Основную роль в создании научной базы технологии сушки сыграли работы П. А. Ребиндера, А. В. Лыкова, Ю. Л. Кавказова, А. С. Гинзбурга, Т. К. Филоненко, А. Чавлеишвили, С.С. Кутателадзе, Э. И. Каухчешвили, Т. Мегрелидзе и др. В их трудах приведены теоретические положения сушки влажных материалов применительно к различным режимам и способам сушки, позволяющие разработать эффективные методы интенсификации процесса.

В настоящее время при переработке овощей и фруктов чаще применяются естественная сушка на открытом воздухе, сушка в гелиосушительных устройствах и искусственная тепловая сушка. Естественная сушка – более простой и распространенный способ обезвоживания. При этом способе обезвоживания используется тепловая энергия солнца, естественное движение воздуха, а капитальные затраты на строительство гелиосушительных установок сравнительно невелики.

Недостатками естественной сушки на открытом воздухе по сравнению с сушкой в гелиосушительных устройствах являются большая продолжительность сушки, зависимость ее от времени года и состояния наружного воздуха, необходимость больших

площадей для размещения сырья. При естественной сушки на открытом воздухе сырье можно высушить только до влажности, близкой к равновесной. Высушенная продукция имеет низкое качество, низкое энергосодержание, сильное загрязнение. Несмотря на кажущуюся простоту и дешевизну естественная сушка в производственных масштабах оказывается достаточно дорогой.

Существует большое разнообразие способов искусственной сушки пищевых материалов. Это обусловлено их теплофизическими, термодинамическими, массообменными и структурно-механическими характеристиками и затратами теплоты на испарение влаги. Затраты теплоты на полное испарение 1 кг влаги в зависимости от способа сушки и конструкции сушилок приведены в таблице.

ТАБЛИЦА

Затраты теплоты на удаление 1 кг воды в зависимости от способа сушки и конструкции сушилок

Способы сушки и конструкции сушилок	Расход энергии на 1 кг испарения влаги кДж/кг
Удельная теплота парообразования	2452
Прессование	105
Центрифугирование	2.3
Электроосматическое обезвоживание	207
Сушка СВЧ	14200
Сублимационная сушка	2100-2300
Вакуумная сушка	17.9
Терморadiационная сушка	4000-6800
Сушилки АВМ	3060
Камерные сушилки	5900-10450
Шахтные сушилки	5000-6300
Барабанные сушилки	3700-5000
Туннельные сушилки	5000-8300
Ленточные сушилки	5000-6670
Сушилка в кипящем слое	4600-6300
Контактные вальцевые сушилки	3340-3980

По энергетическому признаку можно выделить два основных принципа обезвоживания:

- . удаление влаги из материала без изменения агрегатного состояния в виде жидкости;
- . удаление влаги с изменением агрегатного состояния, то есть при фазовом превращении жидкости (льда) в пар.

Первый принцип положен в основу механических способов обезвоживания (фильтрация, сепарирование и т. п.) и контактного обмена при соприкосновении влажного материала с веществами, имеющими более низкий потенциал переноса – сорбентами (контактно – сорбционное обезвоживание).

Второй принцип обезвоживания – тепловая сушка. Теплота сообщается материалу извне известными способами.

С экономической и экологической точек зрения

целесообразнее использовать г/с устройства для сушки с/х продуктов.

Перспектива использования солнечной энергии в нашей стране для с/х продуктов в гелиосушительных установках очень велика.

Проведение солнечно-воздушной сушки связано с погодными условиями, так как сушка с/х продуктов происходит лишь при высокой температуре и низкой влажности воздуха (в солнечные ясные дни). При недостатке тепла продукция получается невысокого качества. Сушка этим методом требует довольно продолжительного времени (4-15 дней). В личном подсобном хозяйстве, на ферме целесообразно иметь хотя бы простую гелиосушительную установку с тем, чтобы максимально хорошо провести сушку с/х продукции с минимальными потерями.

В Грузинском Аграрном университете, а затем Грузинском Техническом университете разработаны на основе известных в мире солнечных сушилок и прошли испытание 10 вариантов трех гелиосушительных аппаратов, предназначенных для сушки фруктов, овощей, грибов, лекарственных растений и др.

Для получения высушенной сельскохозяйственной продукции высокого качества – с высокими органолептическими и БА(биологически активными) показателями предлагаются три г/с установки. Предлагаемые г/с относятся к оборудованию для переработки сельскохозяйственного сырья, а именно для сушки грибов, плодов и овощей с целью их сохранности, продолжительного хранения и сохранения качества; может быть использовано в сельскохозяйственном производстве, пищевой промышленности и других смежных отраслях промышленности.



Рис. № 1. Крупногабаритная гелиосушилка.



Рис. № 2. Конвективная гелиосушилка.



Рис. № 3. Листовая гелиосушилка.

Самотяга вытяжной трубы определяется по широко известной формуле:

$$\Delta P_{\text{с}}^{\text{тп}} = h \left(1,2 - \rho_0 \frac{273}{273 + \theta_{\text{ср}}} \right) g,$$

где h – высота трубы, м; $\rho_{\text{ср}}$ – плотность удаляемого воздуха при 0°C , кг/м³; $\theta_{\text{ср}}$ – средняя температура удаляемого воздуха на выходе из трубы, $^\circ\text{C}$; 1,2 – плотность воздуха при температуре 20°C , кг/м³; g – ускорение силы тяжести, м/с².

При сушке отсутствует пламенный нагрев, а, следовательно, термический процесс безопасен в пожарном отношении.

Поток воздуха, поступающий в коллектор, соприкасается с нагретой поверхностью коллектора и воспринимает тепло от неё. При этом происходит конвективный процесс теплообмена. Упрощенная методика, расчета изменения температуры потока воздуха будет

$$Q = KS(\theta_{\text{к}} - \theta_{\text{в}})t, \text{ Дж},$$

где $\theta_{\text{к}}$ и $\theta_{\text{в}}$ – температура коллектора и воздуха, $^\circ\text{C}$; S – площадь поверхность теплообмена, м²; K – коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности коллектора к воздуху, Вт/(м²· $^\circ\text{C}$); t – время передачи теплоты от поверхности коллектора к воздуху, ч.

Количество теплоты, отдаваемой в течение часа на участке длиной dx ,

$$dQ = K(\theta_{\text{к}} - \theta_{\text{в}})Ldx,$$

где L – периметр коллектора на участке длиной dx .

При этом температура воздуха, изменяется на $d\theta$. Количество теплоты, воспринимаемой воздухом,

$$dQ = mc_p d\theta,$$

где m – масса воздуха, кг; c_p – теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг· $^\circ\text{C}$).

Из условий теплового баланса

$$mc_p d\theta = K(\theta_{\text{к}} - \theta_{\text{в}})Ldx,$$

откуда

$$\frac{KLdx}{mc_p} = \frac{d\theta}{\theta_{\text{к}} - \theta_{\text{в}}}.$$

При постоянной температуре и неизменном значении после интегрирования имеем

$$\int \frac{KLdx}{mc_p} = \int \frac{d\theta}{\theta_k - \theta_s};$$

$$\frac{KLx}{mc_p} = -\ln(\theta_k - \theta_s) + C,$$

т.е.

$$\frac{KLx}{mc_p} = \ln \frac{C}{\theta_k - \theta_s}.$$

Константа C определяется из условий при $x=0$ и $\theta_k = \theta_1$ (θ_1 – начальная температура воздуха на входе в коллектор). Поэтому

$$\frac{KLx}{mc_p} = \ln \frac{\theta_k - \theta_{s,1}}{\theta_k - \theta_s}$$

или

$$e^{\frac{KLx}{mc_p}} = \frac{\theta_k - \theta_{s,1}}{\theta_k - \theta_s}$$

откуда

$$\theta_k - \theta_s = \frac{\theta_k - \theta_{s,1}}{e^{\frac{KLx}{mc_p}}}$$

или

$$\theta_s = \theta_k - \frac{\theta_k - \theta_{s,1}}{e^{\frac{KLx}{mc_p}}};$$

$$\theta_s = \theta_k - (\theta_k - \theta_{s,1})e^{\frac{KLl}{mc_p}},$$

где L – длина, м.

В приведенных расчетах температура внутренней стенки коллектора принята равной температуре наружной стенки.

1. Ружицкая Н. В. Журнал «Технологический аудит и резервы производства». Выпуск № 1 (5) / том 3 / 2012 г.
2. Бурдо О.Г. Казмирук Ю.А. Журнал «Проблемы региональной энергетики». Выпуск № 1 / 2008 г.
3. Лыков АЗ. Теория сушки. М., «Энергия», 1968. 472 с.
4. Бурдо О.Г. Энергоэкономические аспекты развития перерабатывающей отрасли АПК // Зернові продукти і комбікорми.- 2001.- № 4.- С. 58 - 60.
5. Бурдо, О.Г. Энергетический мониторинг пищевых производств [Текст] / О.Г. Бурдо. - Одесса: Полиграф, 2008 - 244с.
6. Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ) / Г.Б. Осадчий. Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.
7. Optimum operating conditions in drying foodstuffs with superheated steam Text. / Elustondo D.M., Mujumdar A.S., Urbicain M. J. // Drying Technol. -2002. 20, №2.-P. 381-402.
8. ა. ჩავლეიშვილი. სოფლის მეურნეობის პროდუქტთა შენახვისა და გადამუშავების ტექნოლოგია. თბილისი. განათლება. 1988.
9. ა. ჩავლეიშვილი. ხილისა და ბოსტნეულის შრობის ტექნოლოგია. თბილისი. 1985.
10. თ. მეგრელიძე, ზ. ჯაფარიძე, გ. ბერუაშვილი. კვების საწარმოთა მოწყობილობები და კონსტრუირება. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2006, – 89 გვ
11. თ. მეგრელიძე, ზ. ჯაფარიძე, გ. გოლეთიანი, გ. გუგულაშვილი. კვების მანქანების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2011, - 224 გვ.