

рующего источника и 450 и 638 нм для проецирующего источника.

Полупроводниковые лазерные диоды обладают большой расходимостью излучения, вследствие чего им необходима коллимационная оптика. Современные САПР позволяет моделировать все элементы сканирующей и проецирующей системы, что упрощает конструирование визуализатора вен. Необходимо выделить также, что САПР позволяет рассчитать в смоделированных оптических системах дифракционное и геометрическое распределение энергии (профиля), что будет необходимо для расчета класса лазерной системы (с учетом оптической мощности и профиля пучка лазера), что важно для медицинских и повседневных приборов, взаимодействующих непосредственно с людьми. Расчет максимальных оптических мощностей лазерных источников следует основывать на санитарных правилах и нормах, с учетом того факта, что предельно допустимый уровень для глаз и кожи пациентов, врачей и обслуживающего персонала устанавливаются в соответствии с нормами для хронического облучения. В зависимости от освещения в помещении необходимо исследовать фоновую обстановку. Для этого необходимо использовать датчик освещенности (люксметр) и датчик цвета (три и более фотодиода с цветными фильтрами). По обратной связи, полученной с датчиков освещенности и цвета, устанавливается требуемый уровень максимальный оптической мощности лазеров.

Работа частично поддержана грантом БРФФИ Ф19М-024.

УДК 631.563.2:517.11

В. Н. Василенко, д-р техн. наук, проф.;

Л. Н. Фролова, д-р техн. наук, проф.;

Н. А. Михайлова, канд. техн. наук, ассист.;

И. В. Драган, канд. техн. наук, доц.;

А. А. Щепкина, студ. (ФГБОУ ВО ВГУИТ, г. Воронеж)

ОБОСНОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СУШКИ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР В ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ РЕЖИМАХ

При организации кормовой базы особое внимание должно быть обращено на улучшение качества кормов и прежде всего на повышение в них протеина и незаменимых аминокислот. Важным резервом увеличения производства протеина являются масличные культуры: рапс, сурепица, подсолнечник, лен, рыжик и др., которые удачно сочетают в себе большую потенциальную продуктивность семян с высоким содержанием масла и протеина при его оптимальной сбалансированности

по аминокислотному составу.

Установлено, что за счет применения теплового воздействия можно обеспечить высокое качество семян масличных культур, увеличить сроки их хранения и эффективно использовать в кормопроизводстве. Одним из способов стабилизации качества семян с повышенным содержанием жирных кислот является сушка в осциллирующих режимах, которая осуществляется чередованием нагрева и охлаждения, что позволяет в значительной степени обеспечить сохранность готового продукта при длительных сроках хранения [1-4].

Для определения температуры сушильного агента на интервалах нагрева и охлаждения масличных культур использовалось уравнение теплового баланса:

$$\frac{d\rho_3(\tau,h)c_3\theta(\tau,h)}{d\tau} = \alpha_v [T_{ca}(\tau,h) - \theta(\tau,h)] - r \cdot \frac{d\left(\frac{W_H(\tau,h)}{100 + W_H(\tau,h)}\rho_3(\tau,h)\right)}{d\tau}. \quad (1)$$

где α_v - объемный коэффициент теплообмена, Вт/(м³·К); r - теплота парообразования, кДж/кг; ρ_3 - насыпная плотность семян рапса, кг/м³; c_3 - удельная теплоемкость семян рапса, Дж/(кг·К); q - удельная нагрузка рапса на газораспределительную решетку сушильной установки, Н/м².

Температура продукта при осциллирующих режимах изменялась по косинусоидальному закону:

$$\theta_{\Delta\tau_i} = \left[A_0 \cos\left(\frac{2\pi\tau_{уч}}{T} - M\right) \left(T_{c.a.i} - \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}} \right) / (K_0 + 1) \right] + \theta_{\Delta\tau_{(i-1)}}, \quad (2)$$

где

$$0 < \tau_{уч} \leq \frac{\tau}{2}, \quad A_0 = \left(1 + \frac{2}{H} \sqrt{\frac{\pi}{\alpha \cdot \tau}} + \frac{2\pi}{H^2 \cdot \alpha \cdot \tau} \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$M = \arctg \left(\frac{1}{1 + \sqrt{\frac{\alpha \cdot \tau}{\pi}}} \right), \quad H = \frac{\alpha}{\lambda}. \quad (3)$$

где $\theta_{\Delta\tau_i}$ - температура семян рапса на последующем расчетном уча-

стке, К; $\theta_{\Delta\tau_{(i-1)}}$ – то же на предыдущем расчетном участке, К;

A_0 – максимальная амплитуда колебаний температуры, равная амплитуде колебаний температуры ограничивающей поверхности, К; T – продолжительность циклов нагрева и охлаждения, мин; $T_{c.a}$ – максимальная температура сушильного агента в цикле нагрева или охлаждения, К; α – коэффициент температуропроводности, м²/с; \bar{K}_0 – среднее значение критерия Коссовича; M – смещение по фазе колебаний температуры поверхности семян рапса по сравнению с колебанием температуры сушильного агента; H – относительный коэффициент теплообмена; α – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к частице семян рапса Вт/(м²·К); λ – коэффициент теплопроводности единичных частиц семян рапса, Вт/(м·К).

Уравнение (1) относительно температуры сушильного агента принимает вид:

$$T_{c.a.i} = \left[\frac{\rho_3(\tau_i, h) c_3(W_i, \tau_i, h) \theta(\tau_i, h)}{\alpha_v} - \left(\frac{\rho_3(\tau_{i-1}, h) c_3(W_i, \tau_i, h)}{\alpha_v} - (\tau_i - \tau_{i-1}) \right) \times \right. \\ \left. \times \left(A_0 \cos \left(\frac{2\pi\tau_{yч}}{T} - M \right) (T_{c.a.i-1} - \theta(\tau_{i-1}, h)) / \alpha_v (\bar{K}_0 + 1) \right) - \right. \\ \left. - \frac{r}{\alpha_v} \left[\frac{(\theta_0 - \theta(\tau_i, h)) / h}{100} \rho_{\Pi}(\tau_i, h) - \frac{(\theta_0 - \theta)(\tau_{i-1}, h) / h}{100} \rho_3(\tau_{i-1}, h) \right] \right]. \quad (5)$$

Теплоемкость семян рапса рассматривалась как средняя величина между теплоемкостью воды и теплоемкостью абсолютно сухих веществ:

$$c_3(\tau_i, h) = c_0 + \frac{W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)}{100 + W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)} (c_B - c_0). \quad (6)$$

Насыпная плотность определялась из уравнения баланса по сухим веществам с учетом порозности и усадки слоя в процессе сушки:

$$\rho_3(\tau_i, h) = \frac{(1 - \varepsilon(0)) h_0 \left(1 - \frac{W_H}{100 + W_H} \right) \rho_3(1 + \beta W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h))}{\int_0^{h(\tau_i)} \left[(1 + \beta W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)) \left(1 - \frac{W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)}{100 + W(\tau_i, T_{c.ai}, v_i, x_{Hi}, h)} \right) \right] dy}. \quad (7)$$

Полученное уравнение позволяет определять температуру сушильного агента на каждом шаге дискретизации на интервалах нагрева и охлаждения.

Задача (1)–(7) решена методом итераций, программный комплекс которого составлен на языке Turbo Pascal 7.0 в среде Windows 2007 к ЭВМ Pentium IV при следующих начальных условиях: $\rho_3(\tau, h) \big|_{\tau=0} = \rho_3$, $\theta(\tau, h) \big|_{\tau=0} = \theta_0$, $T(\tau, h) \big|_{\tau=0} = T_{c.a.}$

Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными по сушке масличных культур показало, что отклонение расчетных и экспериментальных данных не превышало 12%.

Полученное решение (1–7) позволяет определять температуру масличных культур на интервалах нагрева и охлаждения при осциллирующей сушке и открывает перспективы коррекции температурных режимов в допустимой области термовлажностных условий высушиваемого продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое описание процесса сушки семян рапса в осциллирующих режимах / А. А. Шевцов [и др.] // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. - 2011. - № 10. - С. 73–75.

2. Развитие малого инновационного предпринимательства в АПК на основе использования методики форсайта / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. - 2013. - № 2. - С. 223–226.

3. Ресурсосберегающее оборудование нового поколения для переработки масличного сырья / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник машиностроения. - 2019. - № 04. - С. 74–75.

4. Создание энергоэффективного оборудования для переработки масличного сырья / В. Н. Василенко [и др.] // Вестник машиностроения – 2017. - № 01. - С. 87–88.