

УДК 664.8.047

UDC 664.8.047

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ КАК ОСНОВА ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ****OPTICAL PROPERTIES OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS AS THE BASIS OF DRYING TECHNOLOGY**

Афонькина Валентина Александровна  
к.т.н. доцент  
*Южно-уральский государственный аграрный университет, Челябинская область, г. Троицк, Россия*

Afonkina Valentina Aleksandrovna  
Candidate of Technical Sciences, associate professor  
*South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk Region, Troitsk, Russia*

Получены спектральные характеристики различных видов сельскохозяйственного сырья растительного происхождения. Выделены группы сырья по диапазону поглощающей способности инфракрасного излучения, как основы для разработки и обоснования режимов сушки с применением электротехнологий

The article deals with spectral characteristics of various types of agricultural raw materials of plant origin which were obtained. Groups of raw materials are identified according to the range of absorption capacity of infrared radiation, as the basis for the development and justification of drying modes using electrical technologies

Ключевые слова: ГОРЧИЦА; СУШКА; СПЕКТРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА; ЗЕРНОВЫЕ, ИНФРАКРАСНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Keywords: MUSTARD; DRYING; SPECTRAL CHARACTERISTICS; CEREALS, INFRARED RADIATION

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-194-002>

**Введение.** Основная часть сельскохозяйственного сырья – это рецептурный компонент для получения функциональных продуктов питания, а его сбор в нашей стране носит сезонный характер. Основой реализации Доктрины продовольственной безопасности сегодня становится технологии управления жизненным циклом сырья, обеспечение пролонгированных сроков хранения урожая, сохранность товарно-видовых и качественных свойств до момента его использования.

Сушка растительного сырья неотъемлемый этап технологий его переработки. Учеными, разработчиками и производителями предлагается множество методов и средств сушки, основными недостатками которых на сегодня стала унификация и высокая установленная мощность. Эффективная их работа на одном виде сырья, не всегда эффективна на другом, что приводит к увеличению издержек на получение единицы готовой продукции и ухудшению его качества [1,2]. Управлять процессом

<http://ej.kubagro.ru/2023/10/pdf/02.pdf>

сушки эффективно можно и нужно. Новым в подходе к реализации систем управления сушилками живого сельскохозяйственного сырья (семена, закваски и др.) должно стать определение ключевого фактора-признака перерабатываемого сырья, как формируемое для задатчика свойство, по отклонению которого ведется процесс инвариантный к внешним возмущениям. Это позволит проектировать многомерные системы управления, используя обобщённую функцию качества в виде экстремальной статистической характеристики. В случае с процессами сушки инфракрасным излучением спектральная характеристика может стать основой, так как сразу формирует рисунок наилучших и наихудших откликов конкретного сырья на воздействие.

В последние годы наблюдается значительный рост возделывания масленичных культур. Горчица не стала исключением (рис.1).

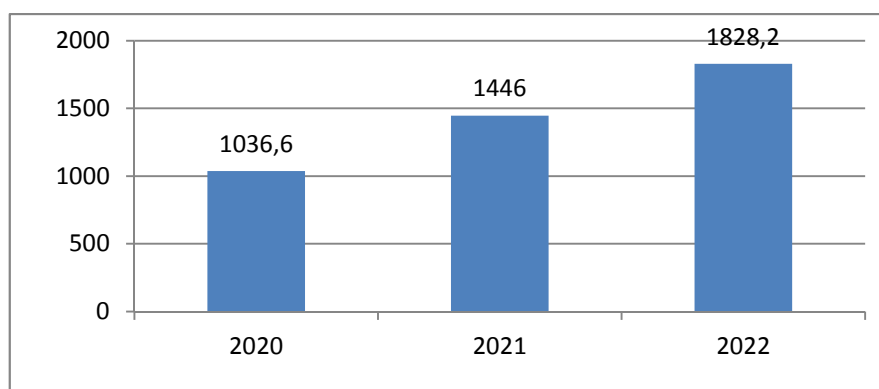


Рис. 1 Динамика изменения объемов валового сбора горчицы в период с 2020 по 2022 года

Постоянное увеличение валового сбора вызывает необходимость в совершенствовании технологий переработки, которая бы позволила увеличить производительность установок и устойчивость сырья к хранению. С горчицей вопрос технологии сушки, которая позволит привести семена в состояние стабильное для последующего посева,

транспортировки, хранения и использования в качестве сырья пищевой, маслоэкстракционной и фармацевтической промышленности, становится сложной многомерной задачей.

На сегодняшний день серийно выпускаемых специализированных сушилок для масленичных и мелкосемянных культур нет. Для сушки семян горчицы, рапса, льна и др. рынок предлагает в основном зерносушилки шахтного, конвейерного и барабанного типов. Несмотря на высокую их производительность, можно выделить несколько общих проблем — высокая температура нагрева сырья, неравномерность сушки, высокое энергопотребление, загрязнение продуктами сгорания углеродного топлива, унос мелких семян агентом сушки. Отсутствие данных о динамических характеристиках конкретных сушилок для конкретной культуры не позволяет найти решение балансовых уравнений, что тормозит внедрение систем управления, дающих возможность адаптировать аппарат под конкретное сырье.

Семена горчицы специфический объект сушки. В их составе кроме горчичного масла, насыщенных жирных кислот содержатся витамин С, витамины группы В и К. Витамины при высоких температурах разрушаются, масло окисляется, ворох может возгораться, а в местах сырого слоя - плесневеть. Таким образом, рекомендуемая производителями зерносушилок температура сушки для масленичных культур 35 - 45 °С [3].

***Материалы и методы исследования.*** В настоящее время ИК-спектроскопия получила широкое применение в пищевой промышленности. Каждый продукт имеет свой индивидуальный характер ИК-спектра, что дает возможность использовать их для качественного и количественного анализа, а также позволяет получить данные о пиках поглощения и пропускания излучения, которые можно использовать для увеличения эффективности процесса сушки, за счет усиления концентрации дозы излу-

чения в объеме сырья. А зная глубину проникновения излучения, эффективно управлять насыпным слоем, влияющим на производительность.

Одной из важнейших характеристик сырья является поглощательная способность. Согласование с данной характеристикой позволяет эффективно выбрать генератора ИК-излучения для технологического процесса сушки, рассматривая электромагнитное поле как информационный поток энергии, который воспринимается биологическим объектом и запускает фазовые приращения внутри его.

ИК-спектр получается при непрерывном воздействии на объект исследования энергией инфракрасного потока излучения. С помощью спектрометра происходит разложение светового потока, который проходит через сырье, по длинам волн. При непрерывном воздействии спектра с определенной интенсивностью, ярко становятся выраженными полосы поглощения инфракрасного излучения пробой сырья.

Интенсивности полос на определенных волновых числах различны и дают возможность оценки пропускания (1) или поглощения (2) излучения сырьем, выраженное в процентах:

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$T = \frac{(I_0 - I)}{I} \cdot 100\% \quad (2)$$

В ходе работы был проведен эксперимент по получению спектральных характеристик разных видов семян зерновых, масленичных и редких трав: ячмень 2 сортов, пшеница 2 сортов, овес 2 сортов, фацелия, рапс, горчица и люцерна [4].

Эксперимент проходил в лаборатории на базе ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ с применением инфракрасного Фурье-спектрометра ФСМ

2201. Данный прибор позволяет получить спектральные характеристики образцов в широком диапазоне длин волн от 0 до 25 000 нм.

Пробоподготовка проходила согласно методическим рекомендациям. В качестве растворителя использовались таблетки KBr, так как при работе с биологическими объектами, растворитель должен обладать прозрачностью, иметь инертность по отношению к образцу и не относиться к токсичным веществам. Анализ методик показал, что при проведении спектральных исследований для получения обобщённой из пяти повторностей интерферограммы необходимо брать семена одинаковой массы, не имеющих механических повреждений и признаков заражения.

**Результаты и обсуждение.** На основе проведенного эксперимента и полученных интерферограмм, исследуемого сырья, зерновые и травы можно разделить на две разные группы по диапазону максимальной поглощающей способности инфракрасного излучения. Так, в первую группу попали ячмень, пшеница и овес (рис. 2), имеющие три явно выраженных пика интерферограмм. Во вторую группу вошли фацелия, рапс, люцерна и горчица (рис. 3).

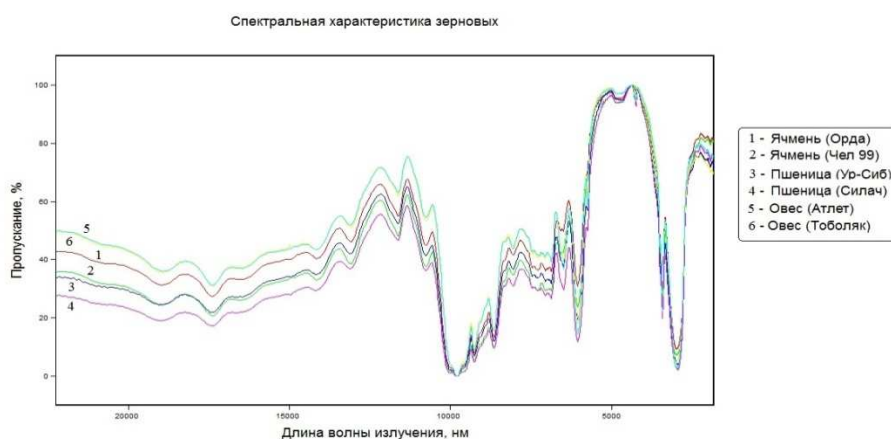


Рис. 2 Обобщённая спектральная характеристика зерновых культур

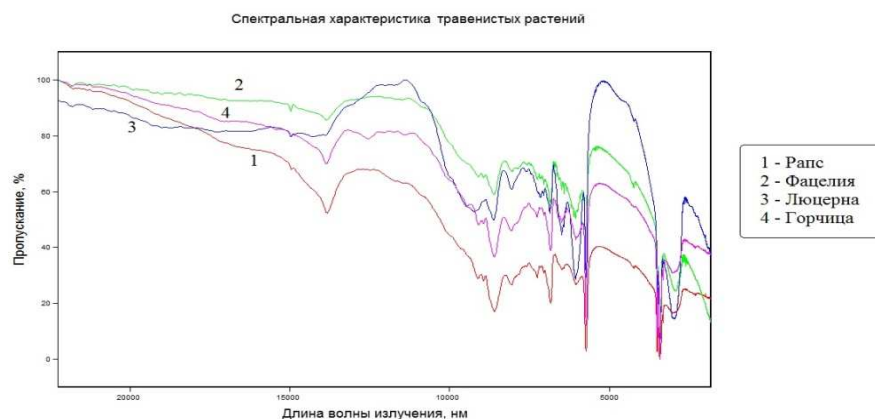


Рис. 3 Обобщённая спектральная характеристика травянистых культур

Анализируя спектральные характеристики разных сортов одного и того же семейства сельскохозяйственного сырья (например злаковые), выявлено, что они имеют различия в интерферограммах, однако характер их схож между собой и спектры подчинены одному характерному диапазону с варьированием процента поглощения и пропускания излучения. Однако, согласно интерферограмме семян горчицы, видно, что они по своей спектральной характеристике схожи не с зерновыми, а с травами, что объяснимо их биологическим происхождением, рапс и горчица – это семейство капустных. Равномерность распределения тепловой нагрузки, отсутствие теневых зон, нагрева ограждающих конструкций и паразитной засветки, а так же адекватность согласования оптических характеристик горчицы и излучателя, работающего в диапазоне 8,5-9 мкм, подтвердили телевизионным исследованием (рис.4).

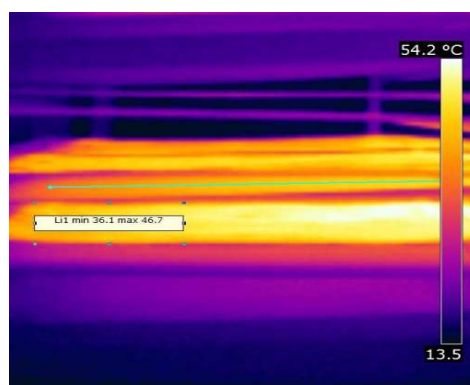


Рис.4 Термограмма инфракрасного нагрева слоя семян горчицы (6мм) в процессе сушки

При проведении исследований было замечено, что при исследовании продуктов с малой глубиной проникновения излучения для оценки возможности использования радиационного нагрева для их сушки, предпочтительно пользоваться спектрами отражения.

**Заключение.** Общим заключением по результатам исследования можно сделать то, что технологии послеуборочной сушки горчицы должны отличаться от зерновых. Поскольку спектральная характеристика горчицы значительно отличается от спектральных характеристик зерновых, необходимо производить процесс сушки на специализированных сушильных установках, которые бы обеспечивали процесс сушки в диапазоне длин волн согласно полученным зависимостям (8,5-9 мкм).

Стоит отметить, что в большинстве пищевых продуктов содержание воды по объему весьма велико и в значительной мере определяет оптические свойства продукта в ИК-области. С одной стороны, это затрудняет количественный анализ, но с точки зрения разработки методов и средств сушки с применением электротехнологий – создает предпосылки для контроля содержания воды в сырье по спектрам поглощения. Зная изменения оптических свойств сельскохозяйственного сырья по мере высыхания, можно создавать энергосберегающие технологии обезвоживания со стадийным снижением энергоподвода. А знание оптических коэффициентов влажного и стабильно сухого сырья, позволит создавать адаптивно-экстремальные системы автоматического управления, обеспечивающие связь между функцией качества объекта сушки и режимными параметрами работы сушильных установок.

### Литература

1. Designing the infrared drying machines of cylindrical type with an active reflector / V. Popov, V. Afonkina, V. Levinskii, E. Zudin and E. Krivosheeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. - 403(1)
2. Theoretical justification of film electric heater parameters as a source of infrared radiation in the technology of drying green crops / V.M. Popov, E.N. Epishkov, V.A. Afonkina,

E.I. Krivosheeva, V.N. Levinsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021. - 723(3). - 032038

3. Попов В.М., Решение задачи многокритериального выбора инфракрасных сушильных установок / Попов В.М., Захахатнов В.Г., Афонькина В.А., Левинский В.Н.// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 186. С. 41-55.

4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М.: Наука, 1976. – 279 с.

### *References.*

1. Designing the infrared drying machines of cylindrical type with an active reflector / V. Popov, V. Afonkina, V. Levinskii, E. Zudin and E. Krivosheeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. - 403(1)

2. Theoretical justification of film electric heater parameters as a source of infrared radiation in the technology of drying green crops / V.M. Popov, E.N. Epishkov, V.A. Afonkina, E.I. Krivosheeva, V.N. Levinsky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021. - 723(3). - 032038

3. Popov V.M., Reshenie zadachi mnogokriterial'nogo vybora infrakrasnyh sushil'nyh ustanovok / Popov V.M., Zahahatnov V.G., Afon'kina V.A., Levinskij V.N.// Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 186. S. 41-55.

4. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij / Ju.P. Adler, E.V. Markova, Ju.V. Granovskij – М.: Nauka, 1976. – 279 с.