

# ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.365:635.1

И.В. Алтухов,  
В.Д. Очиров

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ И ТЕРМОРАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САХАРОСОДЕРЖАЩИХ КОРНЕПЛОДОВ

**Ключевые слова:** оптические и термо-радиационные характеристики, сахаросодержащие корнеплоды, методы и средства измерения, приборы, пищевые продукты, отражение, поглощение.

Химический состав сахаросодержащих корнеплодов определяет их исключительную ценность не только в обычном, но лечебно-диабетическом питании. Биологическую активность содержащихся в корнеплодах веществ при их систематическом употреблении в пищу определяет их общеукрепляющее действие на организм.

В своем большинстве все сахаросодержащие корнеплоды, применяемые в фитотерапевтии, находятся в высушенном виде. Поэтому процесс ИК-обработки корнеплодов должен быть таким, чтобы сохранность активн действующих веществ было максимальным, а уровень энергозатрат – минимальным.

Одним из путей энергосбережения и интенсификации термической обработки сахаросодержащих корнеплодов является согласование энергетических и спектральных характеристик ИК-излучателей с оптическими свойствами корнеплодов. Высокий эффект будет достигнут в том случае, когда будут учитываться такие спектральные характеристики ИК-излучателя, как степень излучения и температура нагрева излучателя [1].

Спектральную степень черноты в направлении нормали определяют формулой Хагена-Рубенса:

$$\varepsilon_n^1(T) = 0,0347 \sqrt{r_{e273}} \cdot T, \quad (1)$$

где  $r_e$  – удельное сопротивление при 273°K (0°С), Ом·см;

$T$  – температура, °К.

Таким образом, и спектральная, и интегральная степень черноты зависят от удельного сопротивления материала. Чем больше удельное сопротивление материала, тем выше эти показатели. Интегральная степень черноты зависит еще и от температуры нагрева материала.

Если мы будем использовать в качестве тел накала для источника излучения материалы с малым удельным электрическим сопротивлением, а следовательно, с низкой степенью черноты, то в процессе нагрева сахаросодержащих корнеплодов будем иметь неоправданные потери энергии. Поэтому в данном случае предпочтнее следует отдать излучателям с телами накала, обеспечивающими высокие радиационные свойства.

К основным оптическими характеристикам продукта относятся поглощательная  $A_\lambda$ , отражательная  $R_\lambda$  и пропускательная  $T_\lambda$  способности материалов. Эти характеристики зависят как от спектрального состава, так и пространственных характеристик падающего излучения. В большинстве случаев, зная  $A_\lambda$ ,  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$ , можно рассчитать все необходимые оптические характеристики материалов [2].

Исходя из закона сохранения энергии излучение  $Q$  (Дж/с), падающее на облучаемое тело в единицу времени, равно

сумме поглощаемой  $Q_A$ , отражаемой  $Q_R$ , пропускаемой  $Q_T$  телом энергии:

$$Q = Q_A + Q_R + Q_T$$

или

$$A_\lambda + R_\lambda + T_\lambda = 1. \quad (2)$$

Из выражения (2), зная две величины, легко найти третью. Поэтому при экспериментальном определении этих характеристик пищевых продуктов можно ограничиться только спектральными отражательными и пропускательными способностями.

Определение оптических свойств сахаросодержащих корнеплодов необходимо для обоснования выбора вида излучателя. Терморadiационные характеристики сахаросодержащих корнеплодов необходимы при обосновании режимов облучения.

Методы измерения отражательной  $R_\lambda$  и пропускательной  $T_\lambda$  способностей пищевых материалов отличаются друг от друга способами облучения исследуемого образца и способами коллимации (собираения) на приемник излучения, прошедшего через продукт или отраженного от него. Принципиально возможно измерение  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  пищевых материалов несколькими способами. Однако наибольший интерес представляют только те, которые позволяют измерять полусферические отражательные и пропускательные способности при различных условиях облучения [2].

При отдельных измерениях  $T_\lambda$  и  $R_\lambda$  влажных материалов возникают ошибки, обусловленные тем, что в процессе эксперимента в них изменяется распределение влаги и плотности по толщине слоя. Однолучевые методы измерения  $T_\lambda$  и  $R_\lambda$  имеют большую длительность эксперимента, но учитывают поглощения углекислым газом атмосферы и парами воды, предъявляют высокие требования к постоянству температуры источника излучения, коэффициента усиления приемно-регулирующего устройства, стабильности последнего и линейности в широком интервале длин волн. На основании изложенного следует, что при экспериментальном исследовании оптических свойств материала необходимо одновременно измерять  $T_\lambda$  и  $R_\lambda$  двухлучевым методом.

Методы определения  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$ , использующие эталон отражения (пропускания), нашли ограниченное применение, так как при осуществлении этих методов индикатриса отражения (пропускания) эталона должна быть совершенно подобной индикатрисе исследуемого объекта, что за-

трудняет нахождение эталона соответствующего исследуемому образцу [3].

Для измерения пропускательной способности пищевых продуктов используют метод приемника с большой приемной площадкой (рис. 1 а).

Также для определения терморadiационных характеристик пищевых продуктов пользуются отдельными методами и установками, с помощью которых определяют интегральную пропускательную способность продуктов (рис. 1 б). К недостаткам прибора следует отнести облучение образца интегральным потоком радиации, что вызывает недопустимый нагрев термолабильных продуктов. Кроме того, радиометр регистрирует только часть пропущенного образцом потока излучения в ограниченном телесном угле  $\omega$ , и поэтому величина  $T$  измеряется со значительной ошибкой [4].

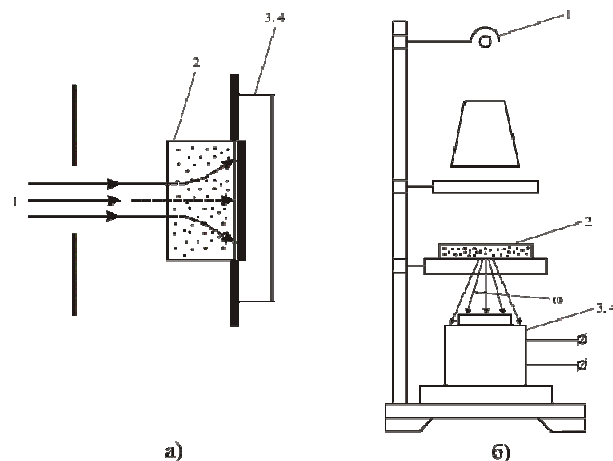


Рис. 1. Принципиальные схемы устройств для измерения терморadiационных характеристик пищевых продуктов при облучении интегральными потоками излучения:

1 – источник; 2 – образец;  
3 – измерительный элемент; 4 – приемник

При измерении терморadiационных характеристик пищевых продуктов различными методами, кроме погрешностей, связанных с размытием направленного потока излучения в образце, имеется целый ряд причин, которые влияют на точность измерений. Во многих устройствах имеет место зональная неравномерность плотности падающего на образец потока, так как из оптических систем исключены линзы, предназначенные для обеспечения равномерной по высоте освещенности щелей монохроматора [2, 5]. Зональная неравномерность освещенности поверхности образца может привести к значи-

тельными погрешностям при измерениях  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  неоднородных капиллярно-пористых материалов, имеющих крупные частицы и поры. При исследовании таких материалов необходимо увеличить размеры сечения падающего потока излучения и принимать меры для обеспечения зональной равномерности изображения источника на поверхности образца.

В настоящее время наибольшее распространение получил метод экспериментального определения полусферической отражательной и пропускательной способностей при облучении поверхности образца направленным потоком излучения.

С целью собирания на поверхность приемной площадки приемника, всего полусферического отраженного (пропущенного) образцом излучения, применяются следующие устройства: интегрирующие сферы, зеркальные полусферы, эллипсоиды и параболоиды, а также приемники с большой приемной площадкой.

Анализ причин погрешностей при измерении  $R_\lambda(\theta; 2\pi)$  и  $T_\lambda(\theta; 2\pi)$  методом зеркальной полусферы показывает, что ошибки, обусловленные только размытием и рассеянием сечения узкого пучка излучения, достигает 96%. Все это требует усовершенствования метода зеркальной полусферы. Прибор, используемый в методе зеркальной полусферы для измерения  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$ , представляет собой специальную приставку на основе интегрирующей полусферы к спектрометру ИКС-12 (рис. 2). В этой установке применяется модулирование с частотой модуляции 9 Гц, что позволяет исключить влияние собственного излучения образца на показания прибора. Во избежание потерь ухода части отраженного излучения через входное отверстие полусферы и для уменьшения абберрации оптической системы необходимо соблюдение условия:  $(K \leq 0,1)$  [3].

Кроме того, при измерении  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  пищевых материалов применяется приемник с достаточно большой приемной площадкой. В качестве такого приемника служит пироэлектрический приемник излучения (ППИ), принцип действия которого основан на зависимости спонтанной поляризации пироактивного материала от температуры. Electroдами служат слои напыленного слоя серебра. Приемная площадка чувствительного элемента покрыта золотой чернью для получения равномерной спектральной характеристики в ближней и средней ИК области спектра.

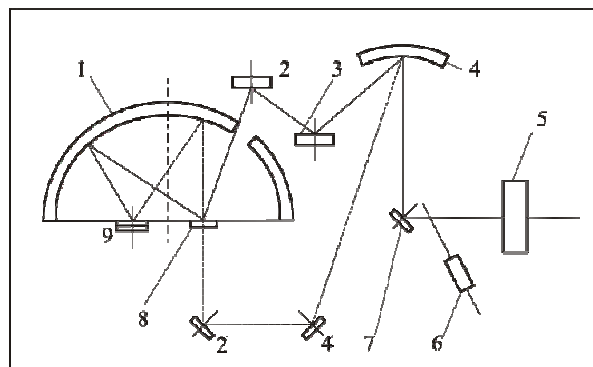


Рис. 2. Схема оптической системы для измерения спектральных коэффициентов отражения и пропускания ИК излучения пищевыми продуктами и материалами:  
1 – зеркальная полусфера;  
2, 3, 4, 7, 8 – система зеркал;  
5 – инфракрасный спектрометр;  
6 – модулятор; 9 – приемник

При измерении  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  пищевых продуктов методом интегрирующей сферы не обязательно применять приемник с большой приемной площадкой, но размеры исследуемого образца должны выбираться с учетом рассеяния и размытия сечения параллельного потока излучения, падающего на его поверхность.

Метод интегрирующей сферы позволяет исключать погрешности измерений, связанные с различием индикатрис отражения эталона и образца и «старением» эталона в интервале длин волн 0,4-1,4 мкм. Преимуществами предлагаемого метода является возможность получения зависимостей  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  исследуемых образцов от угла падения потока радиации и поляризации излучения.

Метод зеркального эллипсоида вращения обычно применяют в сочетании с приемниками излучения, которые имеют большую приемную площадку (Ш32 мм, ФЭСС-У10) [2, 4]. При использовании этого метода размеры образца также должны быть выбраны с учетом рассеяния и размытия в нем потока излучения. Данный метод требует наличия двух совершенно одинаковых образцов для одновременных измерений  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$ , которые в методе проводятся в ограниченном диапазоне длин волн (0,4-1,4) мкм [2]. Недостатком являются также высокая длительность эксперимента (более 30 мин.) и различие условий освещения поверхности фотоэлемента, регулирующего прошедшее сквозь образец (эталон) излучения.

Наиболее точные результаты при измерении терморadiационных характеристик пищевых продуктов можно получить

с помощью метода интегрирующей сферы при правильно выбранных размерах образца.

Рассмотрение методов определения отражательной и пропускательной способностей показывает, что на современном этапе экспериментальные методы и приборы для измерения терморрадиационных характеристик разработаны в отдельных лабораториях. Вместе с тем до настоящего времени практически отсутствуют серийные приборы, позволяющие производить измерения  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  в широком спектральном диапазоне.

Наряду с этим увеличивается и число работ по исследованию спектральных терморрадиационных характеристик (ТРХ) материалов. Это обусловлено тем, что результаты измерения интегральных характеристик объектов из-за ряда недостатков методического характера имели значительную погрешность и ограниченную область применения.

При разработке методов измерения необходимо учесть специфику физико-химических и биологических свойств объектов облучения, которые являются ос-

новными показателями их качества и накладывают ограничения на выбор параметров режима обработки. Не всегда учитываются основные особенности пищевых продуктов: термолабильность, непрерывность и необратимость протекания биохимических процессов, соизмеримость крупных оптических неоднородностей с размерами сечения падающего при измерениях потока излучения, сильное рассеяние ИК-излучения.

Совершенно недостаточно уделяется внимания весьма важным экспериментальным исследованиям степени рассеяния и размытия сечения направленного потока излучения в пищевых продуктах, данные по которым являются определяющими при выборе оптико-геометрических параметров измерительной системы и приемника излучения в различных приставках к спектрофотометрам. Этот факт необходимо учитывать при выборе размеров исследуемых образцов пищевых продуктов с тем, чтобы исключить потери излучения, связанные с размытием сечения проходящего в образце потока излучения.

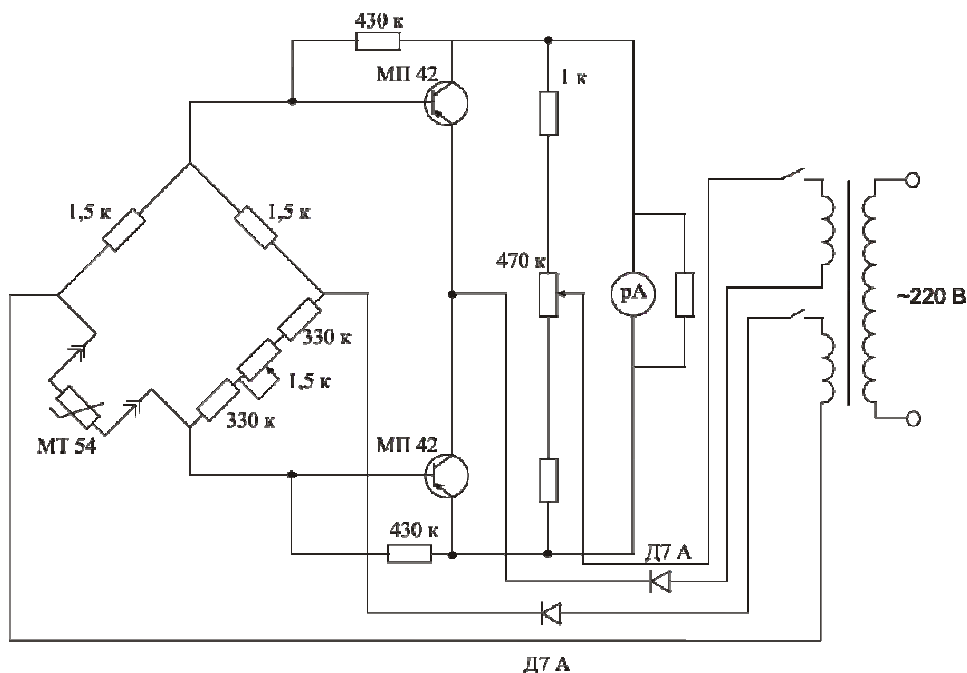


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема прибора для определения оптических свойств сахаросодержащих корнеплодов

Из анализа методов и средств определения, оптических и терморрадиационных характеристик следует, что при выборе наиболее эффективного метода при массовых измерениях  $R_\lambda$  и  $T_\lambda$  пищевых продуктов необходимо исходить из следующих основных условий, которым должен

удовлетворять выбираемый метод измерения:

образец должен освещаться монохроматическим потоком излучения, что позволит свести до минимума нагрев и другие изменения физико-химических свойств образца, происходящие под действием излучения;

падающее излучение должно быть модулированным с целью исключения влияния собственного излучения образца на показания прибора;

приемник излучения должен воспринимать по возможности большую часть (> 80%) всей отраженной или прошедшей сквозь слой энергии излучения:

метод должен позволять производить непосредственные измерения диффузного отражения или пропускания без каких-либо эталонов и обеспечить простоту обработки результатов измерений [2].

На основании этих требований нами в лаборатории «Энергосбережение в электротехнологиях» был разработан и изготовлен электронный прибор для определения оптических и терморadiационных характеристик сахаросодержащих корнеплодов.

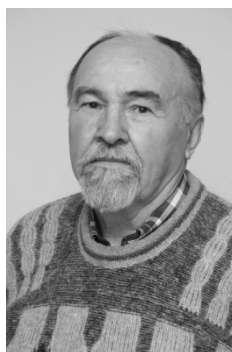
Оптические и терморadiационные характеристики определяются по следующей методике. В основе заложена идея измерения температуры на двух различных глубинах обрабатываемого материала. Принципиальная схема приведена на рисунке 3. В качестве чувствительного температурного элемента в известной мостовой схеме используется полупроводниковый микротерморезистор типа МТ-54. Постоянная времени нагрева этого микротерморезистора равна 500 мкс, по-

этому измерение температуры можно производить очень быстро.

С помощью этого прибора возможно экспериментальное определение оптических и терморadiационных свойств сахаросодержащих корнеплодов на типовых и нестандартных установках.

#### Библиографический список

1. Energie sparende Strahlungsflächen und Relelgerate Vermindem den Stromverbrauch. – Technotip., 1982. – 2. – № 3. – P. 68.
2. Ильясов С.Г. Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов / С.Г. Ильясов, В.В. Красников. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 175 с.
3. Буляндра А.Ф. Теплофизические основы расчета терморadiационных сушильных установок пищевой промышленности: дис. ... к.т.н. / А.Ф. Буляндра. – Киев, 1967. – 168 с.
4. Селюков Н.Г. Исследование оптических свойств пищевых продуктов, подвергаемых обработке терморadiацией: дис. ... к.т.н. / Н.Г. Селюков. – М.: МТИПП, 1968.
5. Рогов И.А. Физические методы обработки пищевых продуктов / И.А. Рогов, А.В. Горбатов. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 583 с.



УДК 620.179.16:677.31/.35:3636.32/.38

**А.А. Багаев,  
Ц.И. Калинин,  
Р.А. Куницын**

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АНАЛИЗАТОРА КАЧЕСТВА МЕРИНОСНОЙ ШЕРСТИ

**Ключевые слова:** овцы, качество шерсти, акустические колебания, ультра-

звук, математическая модель, отражающая способность.