

МОНИТОРИНГ СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

Виневский Е.И., д-р техн. наук

ФГБНУ «Всероссийский научно – исследовательский институт табака,
махорки и табачных изделий», г. Краснодар

Аннотация: Проведен мониторинг современных физико-химических методов обработки сельскохозяйственного сырья на основе анализа критериев: производительность, энергоёмкость и скорость сушки. Установлены основные направления совершенствования технологических приемов и способов сушки сельскохозяйственного сырья.

Ключевые слова: мониторинг, методы, сырье, анализ, скорость, сушка.

При производстве сельскохозяйственной продукции широко используются как химические, так и физические методы и способы обработки сельскохозяйственных культур и сельскохозяйственного сырья.

К химическим методам и способам относятся: опрыскивание, опыливание, обработка аэрозолями, протравливание. Физические методы обработки сельскохозяйственного сырья подразделяются на механические и термовлажностные.

Проведен мониторинг современных физических методов обработки сельскохозяйственного сырья на основе анализа критериев: производительность, энергоёмкость и скорость сушки.

При анализе термовлажностных методов обработки сельскохозяйственного сырья изучалось их влияние на ряд технико-экономических параметров: минимально возможная энергоёмкость процесса, максимальная однородность сушки, минимальное время выхода на заданную влажность и некоторые другие характеристики обезвоживания.

Весомый вклад в разработку теоретических основ технологии сушки с применением искусственных источников теплоты и способов ее подвода к сушиму материалу внесли П.А. Ребиндер, А.С. Гинзбург, А.В. Лыков, М.Ю. Лурье, П.Д. Лебедев, М.Н. Михайлова, М.В. Киргичёв, А.А. Гухман. Вопросы теории и технологии сушки с сочетанием СВЧ и ИК-излучения для материалов растительного происхождения получили развитие в работах В.Я. Явчуновского, А.В. Львицына, Е.А. Четверикова, В.А. Малярчука, О.А. Меляковой, И.В. Алтухова и др. [1-11].

В Московском государственном аграрном университете разработан способ проведения импульсной ИК-сушки семян [1, 2]. Отличие данного способа от известных состоит в том, что сушку ведут в сушильной камере в переменном по времени импульсном режиме «нагрев - охлаждение» с переменными в нём составляющими стадий нагрева и охлаждения, при этом на-

грев осуществляется ИК-лучами с длиной волны 0,8-10 мкм. Постоянными при этом являются максимальная и минимальная температуры материала в процессе. Установлено, что импульсная ИК-сушка вызывает значительное повышение всхожести и энергии прорастания. В среднем для всех семян овощных культур в зависимости от типа излучателя всхожесть увеличивается на 11-24% (от контроля), а энергия прорастания – на 12-73%, а для семян нетрадиционных и редких растений – соответственно на 13-24% и на 14-82%.

В Саратовском государственном аграрном университете разработан способ сушки продуктов растительного происхождения (корни и стебли с листьями лекарственных трав) за счет инфракрасно-конвективного воздействия [3, 4] с однонаправленными влаго- и температурным напором, позволяющий сократить энергозатраты и продолжительность процесса. Обоснованы параметры циклов ИК-нагрева и конвективного обдува продукта, позволяющие снизить продолжительность и энергоемкость процесса сушки: продолжительность ИК-нагрева $\tau_n=0,9-1,5$ ч; стимулирующего обдува $\tau_o=(0,45-0,5)\tau_n$; обдува нагретым воздухом $\tau_{но}=(0,13-0,15)\tau_o$.

Учеными Иркутской государственной сельскохозяйственной академии обоснован импульсно - прерывистый метод ИК – облучения корнеплодов моркови с понижением уровня энергоподвода в каждом последующем цикле [5].

В Красноярском государственном аграрном университете разработана методология выбора ресурсосберегающих методов управления ИК-энергоподводом при формировании активно действующих веществ в процессах производства оздоровительного чая [6].

Исследованиями установлен ряд сингулярных точек, характеризующих различные формы связи влаги с капиллярно-пористыми коллоидными телами, к которым можно отнести и лекарственные растения (рис. 1). Вся влага разделяется на влагу физико-механической и физико-химической связей. Количество энергии для отрыва 1 моля воды с физико-механической связью в несколько раз меньше количества энергии для отрыва 1 моля воды с физико-химической связью. При физико-механической связи влаги с лекарственными растениями основная масса воды является свободной и сохраняет свои свойства. Слой воды, связанный адсорбционно, меняет свои свойства. Было предположено, что вода в растениях имеет в основном физико-механическую связь и лишь незначительный процент воды с физико-химической связью.

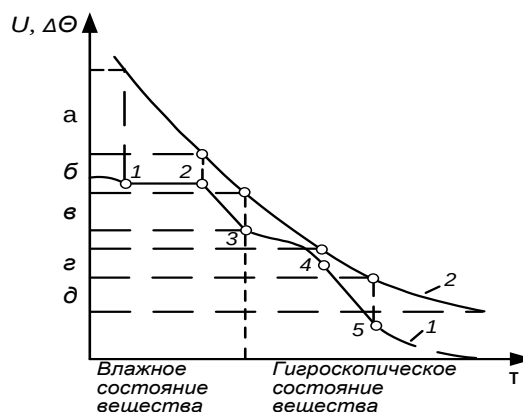


Рис. 1. Термограмма сушки (1) и кривая сушки (2)

Анализ термограммы и кривой кинетики процесса сушки растений с физико-механической связью влаги показывает, что для удаления свободной влаги в начальный момент процесса термообработки целесообразно подводить большее количество энергии до достижения предельно допустимой температуры для данного процесса и растения, с целью интенсификации процесса влагоудаления и сокращения времени на процесс сушки. По мере удаления влаги уровень подводимой энергии необходимо снижать и поддерживать рабочую температуру, не превышающую предельно допустимых значений для данного растения.

На основании теоретических исследований были выбраны закономерности регулирования дискретными методами ИК-энергоподвода в процессах переработки лекарственных растений.

Поиск эффективных режимов ИК-облучения в процессах термообработки материалов, в том числе и при исследовании технологии оздоровительного чая, указал на пути комбинации элемента искусственной конвекции и прерывных методов нагрева.

Включение и отключение ИК-облучателя при прерывном энергоподводе можно осуществлять двумя принципиально различными методами управления:

- 1) частотно-прерывный метод управления энергоподводом;
- 2) широтно-прерывный метод управления энергоподводом.

Для ускорения процесса удаления влаги из внутренних слоев растений необходимо организовать процесс переработки растений с понижением уровня энергоподвода в каждом последующем цикле. Так как в начале процесса сушки количество влаги в растениях имеет максимальное значение и она в основном имеет механическую связь, то в период интенсивного нагрева большая часть ее будет удалена в первых циклах процесса сушки с минимальными затратами энергии на совершение работы по отрыву влаги от сухого вещества. Чередование периодов интенсивного нагрева растений с интенсивной вентиляцией позволяет использовать эффект внутреннего тепло-влажнопереноса и завершить процесс с минимальными затратами энергии и на сравнительно низком температурном режиме. А это, в свою очередь, позво-

лит не только значительно сократить расход энергии на процесс, но и обеспечить более высокое качество готового продукта.

Принципиально другая картина будет при организации процесса переработки растений с повышением уровня энергоподвода в каждом последующем цикле. Увеличение температуры к концу процесса приведет не только к повышенным затратам энергии, но и к необратимым процессам в составе активно действующих веществ [6].

На рисунке 2 приведены экспериментальные кривые сушки листьев иван-чая при различных методах ИК-энергоподвода.

Анализ кривых сушки листьев иван-чая в сопоставимых условиях различными методами ИК-энергоподвода показывает, что наибольшую эффективность имеет широтно-прерывный метод с понижением уровня энергоподвода в каждом последующем цикле. При съёме влаги с $W_1=75\%$ до $W_2=15\%$ время процесса укладывается в 40 минут. При других методах энергоподвода при таком влагосъёме на процесс сушки затрачивается значительно большее время [6].

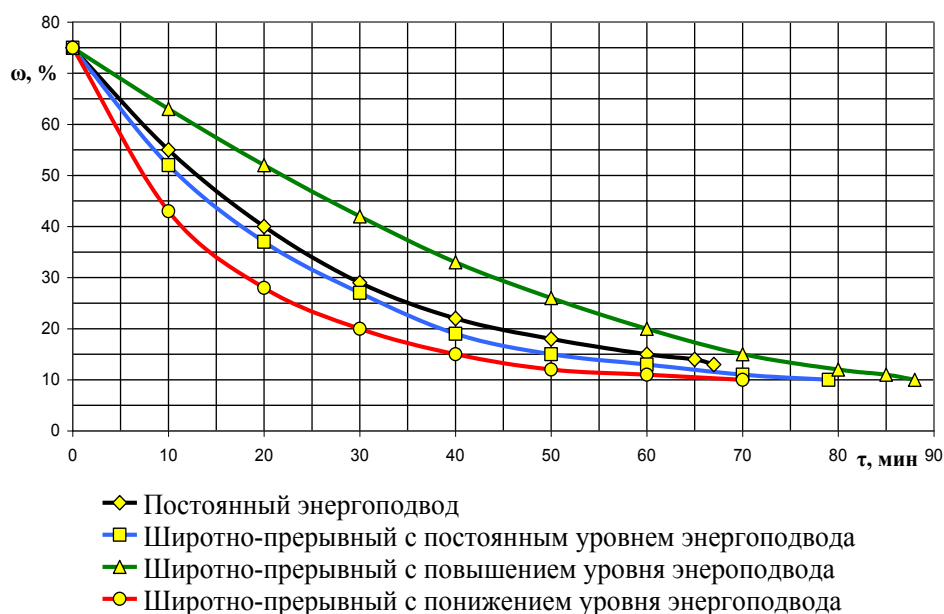


Рис. 2. Экспериментальные кривые сушки листьев иван-чая при различных методах ИК-энергоподвода

Ученые Всероссийского селекционно-технологического института садоводства и питомниководства, Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова, Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина, Иркутской государственной сельскохозяйственной академии, Красноярского ГАУ доказали, что весьма перспективно использование ИК - сушки ввиду ряда важных отличий от классических методов нагрева.

Во-первых, не требуется наличия теплоносителя, способствующего загрязнению обрабатываемого материала.

Во-вторых, интенсивность нагрева не зависит от агрегатного состояния материала – только от его оптических, диэлектрических свойств и напряженности СВЧ-поля.

В-третьих, для сушки тонких слоев очень эффективно использование ИК-нагрева. В этом случае интенсификация сушки увеличивается в 1,5-2,0 раза при снижении энергозатрат в 1,5 раза.

В-четвертых, наибольшая эффективность ИК- и СВЧ-сушки проявляются в диапазоне малых влажностей.

В сушилке с кипящим (псевдокипящим) слоем достигается интенсивное перемешивание материала, ускоренный тепло- и массообмен, благодаря чему сушильный агент может использоваться при повышенных температурах без значительной потери качества конечного продукта. Специфика процесса обезвоживания в данных сушилках заключается в том, что нагретый воздух движется в вертикальном направлении (снизу вверх) с такой скоростью, что силы давления воздуха на частицы продукта уравнивают действующие на эти частицы гравитационные силы. В результате каждая частица как бы «парит» независимо от других и все элементы ее поверхности одинаково эффективно взаимодействуют с потоком нагретого воздуха, то есть вся площадь ее поверхности является площадью испарения, что несколько уменьшает энергоемкость процесса. Однако тепло- и массообмен между внешней поверхностью частиц и их внутренними областями в этой технологической схеме ничем не отличается от типичного для конвекционной сушки, что и приводит к многократному увеличению энергоемкости и снижению скорости сушки при малых влажностях продукта и соответственно к увеличению энергоемкости процесса.

Для продуктов с высоким исходным уровнем влажности зачастую представляется целесообразным объединять технологии конвекционной и ИК- или СВЧ- сушки, в единый последовательный сушильный процесс, в котором каждый из составляющих его физических механизмов «работает» при близких к оптимальным параметрам взаимодействия с высушиваемым объектом.

Во влажном продукте, при достаточно больших значениях параметров тепло- и массопроводности, конвекционная сушка имеет преимущества в силу существенно более высокого КПД получения энергии (теплоты). По мере уменьшения (в процессе обезвоживания продуктов) параметров тепло- и массопроводности и естественного снижения эффективности конвекционной сушки менее энергоемкой становится инфракрасная и микроволновая сушка.

Одним из возможных путей решения проблемы интенсификации процесса сушки дисперсных материалов является применение осциллирующих режимов (попеременная подача высоко- и низкотемпературного агента сушки, например, наружного воздуха). Учеными ВИМа, Воронежской государственной технологической академии, УрГСХА, Астраханского ГТУ установлено, что использование осциллирующих режимов сушки позволяет повысить ее эффективность по сравнению с сушкой при постоянной температуре.

Изменение влажности, температуры, структуры материала и других его свойств приводит к целесообразности варьирования режимных параметров в процессе сушки, соответствующих максимальной интенсивности массообмена. Для многих термолабильных материалов и пищевых продуктов фактором, лимитирующим продолжительность их пребывания в сушильной камере, является предельная (максимально допустимая) температура нагрева и другие варьируемые параметры. Поэтому для таких материалов применяют циклическую сушку с осциллирующим режимом, при которой циклы нагрева чередуются с циклами охлаждения или «отлежки». Продолжительность цикла сушки, таким образом, определяется продолжительностью достижения заданных параметров.

Осциллирующий режим можно создать тремя путями:

- временным чередованием температурного режима во всем объеме рабочей камеры (осцилляция во времени),
- введением позонного переменного температурного режима в рабочей камере (осцилляция по месту),
- комбинированным способом (осцилляция во времени и по месту).

В Астраханском государственном технологическом университете разработан алгоритм получения осциллирующих рациональных режимов сушки экстракта корня солодки на базе аппроксимации кривых скорости сушки [8].

Одним из частных случаев осциллирующих режимов является применение комбинированных методов энергоподвода. В Саратовском ГАУ разработан способ сушки с однонаправленным влаго – и температурным напором «ИК – нагрев – обдув воздухом – обдув нагретым воздухом» [4].

Во Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства разработали осциллирующий режим сушки, заключающийся в том, что тепловая энергия подводится к материалу циклично, когда ИК – нагрев чередуется с конвективным охлаждением, что увеличивает температурный напор из глубины материала и стимулирует вытеснение влаги на его поверхность [8]. Цикл «нагрев - охлаждение» завершается технологической паузой, за время которой материал обдувается подогретым воздухом, обеспечивается активное испарение вытесненной на поверхность влаги и вынос ее за пределы сушильной камеры.

В Красноярском ГАУ обоснованы два способа управления энергоподводом в процессах производства оздоровительного чая: частотно-прерывный и широтно-прерывный. Установлено, что наибольшую эффективность имеет широтно-прерывный метод с понижением уровня энергоподвода в каждом последующем цикле [6].

Проводились исследования по применению физических методов обработки сельскохозяйственного сырья при производстве табачного сырья. В Московском технологическом институте пищевой промышленности в 60-х годах XX века изучалась возможность применения ИК и СВЧ – излучений при гигротермической обработке листового табака [10]. Определены термо-радиационные и электрофизические характеристики табачных листьев и изу-

чены особенности тепломассообмена при термической обработке табака с применением различных методов энергоподвода. По результатам проведенных исследований был научно обоснован и разработан новый способ послеуборочной гигротермической обработки табака с применением ИК – излучения.

Во ВНИИ табака, махорки и табачных изделий разработан способ сушки табака в плотной массе, отличающийся тем, что сушку на всех стадиях осуществляют путем многократного чередования нагревания и отлёжки табака, совмещенной с естественным охлаждением, с равными промежутками времени продолжительностью 30-60 мин [11]. Предлагаемый способ сушки в переменном режиме «нагрев-отлежка» обеспечивает получение качественного сырья с улучшенными технологическими и курительными достоинствами и снижение энергетических затрат в период отлёжки табака и за счет сокращения общей продолжительности процесса сушки.

Таким образом, мониторингом современных физических методов обработки сельскохозяйственного сырья установлено следующее:

1. Наиболее широко используемые в сельскохозяйственной, пищеперерабатывающей и других отраслях промышленности технологии и оборудование, основанные на конвекционных механизмах обезвоживания [7], не обеспечивают достаточно высокого качества получаемой продукции и характеризуются большой энергоемкостью процесса. Указанные недостатки конвекционной сушки обусловлены спецификой взаимодействия горячего воздуха с высушиваемыми объектами на различных этапах процесса сушки.
2. На начальном этапе сушки взаимодействие протекает достаточно эффективно, энергоемкость процесса мала, а скорость сушки достаточно высока. Однако по мере высыхания продукта и связанного с этим снижения его тепло- и массопроводящих характеристик все большая доля тепловой энергии не проникает вглубь высушиваемых продуктов, а переизлучается в пространство. Энергоемкость процесса возрастает, время сушки многократно увеличивается, возникают локальные перегревы продукта (в первую очередь, его поверхностных слоев).
3. Аналогичные проблемы возникают при использовании технологий сушки в псевдокипящем слое и других, основанных как и конвекционная сушка, на поверхностном обогреве высушиваемых продуктов.
4. Современные и обеспечивающие высокое качество конечного продукта технологии сушки должны опираться на иные физические механизмы обезвоживания, на физические процессы, ход которых не так сильно связан с изменяющимися в процессе сушки собственными свойствами продуктов.

На основании вышеизложенного, определены основные направления совершенствования технологических приемов и способов сушки сельскохозяйственного сырья:

- при достаточно больших значениях параметров тепло- и массопроводности обрабатываемого сельскохозяйственного сырья конвекционная сушка

имеет преимущества в силу существенно более высокого КПД получения энергии;

- в процессе обезвоживания сельскохозяйственного сырья менее энергоемкой становится инфракрасная и микроволновая сушка;
- установлено, что возможным путем решения проблемы интенсификации процесса сушки дисперсных материалов является применение попеременной подачи высоко- и низкотемпературного агента сушки (использование осциллирующих режимов).

Литература

1. Патент на изобретение № 2393397 /РФ/. Способ импульсной инфракрасной сушки термолабильных материалов/ И.В. Григорьев, С.П. Рудобашта.– Заявка № 2009119751 публ. 27.06.2010, Бюл. №18. – С. 894.
2. Григорьев И.В. Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 2010.
3. Патент №2216257 /РФ/. Способ сушки продуктов растительного происхождения / С.Н. Любайкин, Л.А. Рыбалко, заявитель и патентообладатель Сергей Николаевич Любайкин, Людмила Александровна Рыбалко. – № 2002100293/13; заявл. 03.01.02; опубл. 20.11.03, Бюл. №32.
4. Лягина Л.А. Повышение эффективности сушки продуктов растительного происхождения за счет инфракрасно–конвективного воздействия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2010.
5. Очиров В.Д. Обоснование режимов ИК – энергоподвода в технологии сушки корнеплодов моркови импульсными керамическими преобразователями излучения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2011.
6. Худоногов И.А. Ресурсосберегающие методы управления ИК-энергоподводом в процессах производства оздоровительного чая: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Красноярск, 2009.
7. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов/ А.С. Гинзбург. - М.: Пищевая промышленность, 1973.- 528с.
8. Хайбулов Р.Л. Разработка осциллирующих режимов сушки растительных экстрактов / Р.Л. Хайбулов, Н.Л. Подледнева, А.В. Ревина // Вестник АГТУ. - 2008. - № 2 (43).
9. Погорелов М.С. Оптимизация режимов инфракрасной сушки плодов и ягод и ее оборудование: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. - М., 2007.
10. Усачев С.Г. Гигротермическая обработка листового табака с применением ИК и СВЧ – излучений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1963.
11. Патент № 2461329 /РФ/. Способ сушки табака в плотной массе/ Е.А. Тимошенко, В.А. Саломатин, Н.Н. Винеvская [и др.]: заявитель и патентообладатель: Всероссийский НИИ табака, махорки и табачных изделий. - Заявл. 11.06.2010; опубл. 20.09.2012.