

количества действующих целебных свойств веществ.

Например, толстые корни алтея лекарственного должны быть расщеплены на 2-4 части и разрезаны на куски длиной 30-35 см, а корни валерианы – разрезаны на 2-4 части сразу после промывки. Длинные корневища и корни девясила высокого разрезают на куски длиной 10-20 см, а толстые куски – еще и вдоль, на части толщиной 1-2 см. Если сушить целые корни и корневища, то они запариваются. Сухое сырье душицы обыкновенной должно состоять из смеси зеленых листьев и мелких бледно-пурпурных цветков с небольшим количеством измельченных верхушечных стеблей. Не допускается содержание частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 1 мм.

У зверобоя продырявленного не должно быть таких частиц, размер которых менее 2 мм; у пустырника сердечного – 3 мм, а у радиолы розовой и мяты перечной – 0,5 мм. Готовое сырье мяты перечной представляет собой кусочки листьев различной формы, размером от 0,6 до 10 мм.

К каждому растению предъявляются свои требования, выполнение которых является обязательным условием для всех, кто выращивает лекарственное сырье (растения).

Все работы по измельчению растений в Жлобинском ВАТК несмотря на их трудоемкость, выполняются вручную. В настоящее время пока нет таких механизмов и машин для измельчения трав.

Главное требование состоит в том, что нужно выдерживать требуемые параметры по измельчению сырья. Ручное измельчение лекарственного сырья может применяться лишь при небольших объемах выращенных лекарственных трав. Поэтому потребность в машинах по измельчению этого сырья огромная.

В число характеристик такой машины обязательно должны входить следующие: легкость и быстрота регулировки размеров измельчения; возможность работать как на сухом, так и на свежесрезанном и влажном сырье; возможность измельчать корни разной плотности.

Для примера приведем схему агрегата для измельче-

ния лечебных трав, предложенную изобретателем из Тернопольской области И.Я.Гурским (используется только для высушенных трав) (рис. 1).

В этом агрегате трава, предназначенная для измель-

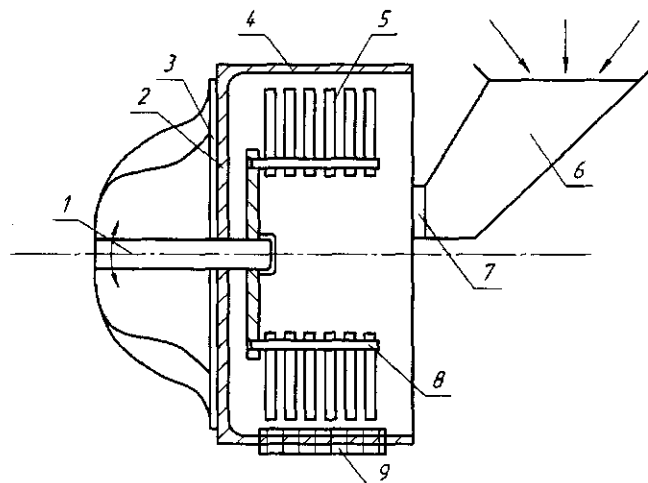


Рис.1. Схема агрегата для измельчения трав: 1-вал; 2-фланец измельчителя; 3-фланец корпуса насоса; 4-корпус; 5-молоточки; 6-загрузочный бункер; 7-задвижка; 8-палец; 9-фракционное сито

чения, поступает в загрузочный бункер 6 и через задвижку 7 попадает в корпус 4. При вращении вала 1 молоточки 5, закрепленные в кольце 8, ударяют по стеблям и листьям травы и измельчают ее. Под действием центробежной силы измельченные частицы выходят через фракционное сито 9. В зависимости от требуемой степени измельчения имеется возможность замены сит.

Проблема измельчения лекарственных трав очень актуальна. Публикуя эту статью, надеемся на заинтересованность ученых, студентов и всех технических работников и участие в разработке и создании такой машины или механизма.

УДК 621.317.39.0842

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ РЕЗОНАТОРНЫМИ МЕТОДАМИ

В.В. Лисовский, канд. техн. наук, доцент (УО БГАТУ)

Проблема повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного сырья и продуктов переработки становится всё более острой для отечественных товаропроизводителей.

Влажность является тем ключевым параметром, от достоверности контроля которого зависит решение задачи максимального снижения себестоимости переработки продукции при сохранении её высокого качества.

Технологические процессы производства сахара, сухого молока, казеина и некоторых других сыпучих сельскохозяйственных материалов требуют точного контроля влажности исходного сырья и готовой продукции в диапазоне малых и сверхмалых влагосодержаний, что возможно на основе применения резонаторных методов СВЧ-влагометрии.

Резонаторные преобразователи обычно основаны на измерении добротности Q или ухода частоты Δf резонатора, частично заполненного влажным материалом (метод малых возмущений).

Получим общие соотношения, связывающие резонаторные параметры преобразования и комплексную диэлектрическую проницаемость влагосодержащего материала ε^* . Примем, что резонаторная частота невозмущенного резонатора (в отсутствие образца) ω_0 , а при наличии образца в резонаторе ω ; изменение резонансной частоты объемного резонатора определяется выражением:

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \approx - \frac{\int_V (\varepsilon^* - 1) |\bar{E}_0|^2 dV}{2 \int_V |\bar{E}_0|^2 dV}, \quad (1)$$

где \bar{E}_0 - вектор напряженности электрического поля,

V - объем резонатора.

Согласно [1] выполняется соотношение

$$\omega'' = \frac{\omega'}{2Q_{od}}, \quad (2)$$

где Q_{od} — ненагруженная добротность возмущенного резонатора.

Для резонаторов с высокой добротностью $\omega'' \ll \omega_0'$. Кроме того, в методе малых возмущений

$$\frac{\omega' - \omega_0'}{\omega_0'} \ll 1. \text{ С учетом сделанных замечаний полу-}$$

чаем выражения для ε'' и ε'

$$\varepsilon'' = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{Q_{od}} - \frac{1}{Q_0} \right] \frac{\int_V |\bar{E}_0|^2 dV}{\int_{\Delta V} |\bar{E}_0|^2 dV}, \quad (3)$$

$$\varepsilon' = 1 + \frac{\Delta \omega}{\omega_0} \frac{\int_V |\bar{E}_0|^2 dV}{\int_{\Delta V} |\bar{E}_0|^2 dV}, \quad (4)$$

где Q_0 - ненагруженная добротность невозмущенного резонатора.

В реальных условиях объемный резонатор всегда связан с фидерной системой СВЧ-тракта влагомера, поэтому контролируется обычно ненагруженная добротность Q_n объемного резонатора.

Учитывая, что

$$\frac{1}{Q_n} = \frac{1}{Q_0} - \frac{1}{Q_{вн}}, \quad (5)$$

где: $Q_{вн}$ - внешняя добротность резонатора, которая не меняется при помещении образца влажного материала в резонатор, для ε'' получаем:

$$\varepsilon'' = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{Q_{нд}} - \frac{1}{Q_n} \right] \frac{\int_V |\bar{E}_0|^2 dV}{\int_{\Delta V} |\bar{E}_0|^2 dV}. \quad (6)$$

Для цилиндрических резонаторов с возбуждением на волне E_{010} приведенные соотношения будут иметь вид:

$$\varepsilon' = 1 + 0,27 \frac{\Delta \omega}{\omega_0} \frac{a^2}{d^2 \left[1 + 1,2d^2/a^2 \right]}, \quad (7)$$

$$\varepsilon'' = 0,135 \left[\frac{1}{Q_{нд}} - \frac{1}{Q_n} \right] a^2 / d^2 \left[1 + 1,2d^2/a^2 \right], \quad (8)$$

где a - радиус резонатора,

d - диаметр образца.

Принципиально возможны два варианта включения резонаторов. В первом случае резонатор включается по проходной схеме и контролируется изменение переходного ослабления ΔN резонатора при внесении в его полость образца или смещение Δf его резонансной частоты. Изменение ΔN можно контролировать двояко: либо при выполнении условия резонанса, т.е. на частотах f_0 и f_1 , либо на одной частоте f_0 . В последнем случае условие резонанса не выполняется, однако повышается чувствительность метода к влагосодержанию. При включении резонатора на прохождение можно контролировать также фазовый сдвиг $\Delta \varphi$ резонатора до и после внесения в полость резонатора образца. Аналогичные измерения можно проводить при включении резонатора в режиме отражения. В этом случае переходное ослабление ΔN заменяется коэффициентом отражения $|\Gamma|$.

Рассмотрим параметр преобразования при включении резонатора по проходной схеме. При таком варианте резонатор имеет два элемента связи (на входе и на выходе). В этом случае переходное ослабление резонатора

будет задаваться выражением [2]:

$$\Delta N = N_1 - N_0 = 20 \lg \frac{Q_{HO}}{Q_{Hd}} = 8,686 \ln \left(1 + \frac{2Q_{HO}}{B} \varepsilon'' \right), \quad (9)$$

где В – для цилиндрического резонатора находим из выражения [1]:

$$B = 0,27 \frac{a^2}{d^2 \left(1 + 1,2 \frac{d^2}{a^2} \right)}$$

Для нахождения связи между ΔN и W воспользуемся линейной моделью, при этом учтем, что в диапазоне малых и сверхмалых влагосодержаний ε_c'' собственно сухого материала может оказаться сравнимым с ε'' , вызванным водой в образце. Полагая, что мнимая часть диэлектрической проницаемости влагосодержащего материала равна ε'' , а действительная ε' , в рамках линейной модели можно записать

$$\frac{\pi \varepsilon_H''}{\lambda \sqrt{\varepsilon_H}} \Phi \frac{\rho_c}{\rho_H} W + \frac{\pi \varepsilon_c''}{\lambda \sqrt{\varepsilon_c}} \Phi = \frac{\pi \varepsilon''}{\lambda \sqrt{\varepsilon}}, \quad (10)$$

где Φ -коэффициент заполнения,

ρ_c, ρ_H -плотность сухого материала и воды, откуда находим

$$\varepsilon'' = \Phi \left(\frac{\rho_c}{\rho_H} \frac{\varepsilon_H''}{\sqrt{\varepsilon_H}} W + \frac{\varepsilon_c''}{\sqrt{\varepsilon_c}} \right) \left[\Phi \left(\sqrt{\varepsilon_c'} - 1 \right) + 1 \right]. \quad (11)$$

При выводе (11) было принято во внимание, что при $W \ll 1$

$$1 + \Phi \left(\sqrt{\varepsilon_c'} - 1 \right) \gg \Phi \frac{\rho_c}{\rho_H} \frac{W}{1-W} \left(\sqrt{\varepsilon_c'} - 1 \right).$$

Комбинируя (9) и (11), получаем для параметра преобразования:

$$\Delta N = 8,686 \ln \left[1 + \frac{2Q_{HO}}{B} \Phi \left(\frac{\rho_c \varepsilon_H''}{\rho_H \sqrt{\varepsilon_H}} W + \frac{\varepsilon_c''}{\sqrt{\varepsilon_c}} \right) \left[\Phi \left(\sqrt{\varepsilon_c'} + 1 \right) \right] \right]. \quad (12)$$

На рис. 1 представлены экспериментальные зависимости $\Delta N(W)$ для кварцевого песка в диапазоне малых влагосодержаний. На этом же рисунке нанесена теоретическая зависимость. Экспериментальные значения для $\Delta N(W)$ были получены в резонаторе с размерами $a = 84$ мм; $d = 8,2$ мм на частоте 1,4 ГГц. Нагруженная добротность Q_{HO} , измеренная по известной методике [3], оказалась равной 2400, а начальное ослабление – 23 дБ. Из приведенных зависимостей следует

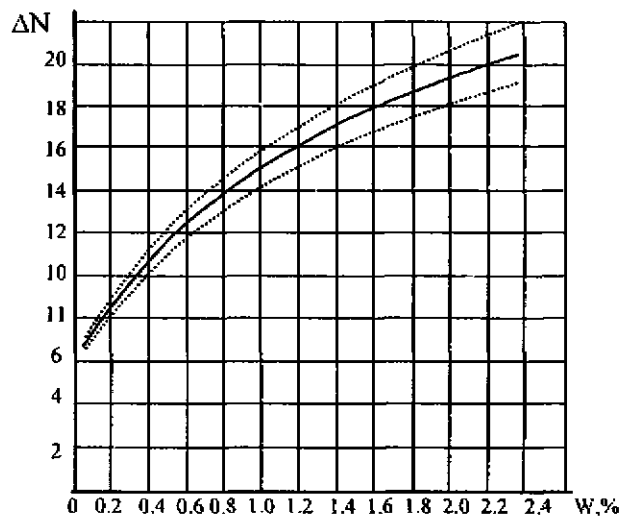


Рис. 1. Зависимость переходного ослабления ΔN объемного резонатора тина E_{010} от влагосодержания кварцевого песка на частоте 1,4 ГГц (сплошной линией показана расчетная кривая)

хорошее совпадение экспериментальных данных с теоретическими, рассчитанными по выражению (12).

Параметр преобразования Δf в рамках линейной модели имеет вид:

$$\Delta f = \frac{f_0}{B} \left\{ \left[\Phi \frac{\rho_c}{\rho_H} \frac{W}{1-W} \left(\sqrt{\varepsilon_H'} - 1 \right) + \Phi \left(\sqrt{\varepsilon_c'} - 1 \right) + 1 \right]^2 - 1 \right\}. \quad (13)$$

Ещё один параметр преобразования можно получить, измеряя ослабление δN проходного резонатора при помещении в него образца влажного материала. Отличительной особенностью данного способа является то, что измерения производятся без перестройки частоты резонатора. Частота, на которой возбуждается резонатор, соответствует резонансной частоте при возмущении резонатора абсолютно сухим материалом.

Таким способом можно существенно повысить чувствительность резонаторного метода. Получим выражение для параметра преобразования рассматриваемого метода.

$$\delta N = N_2 - N_1 = 8,686 \ln \frac{Q_{HC}}{Q_{HB}} \sqrt{1 + a^2}. \quad (14)$$

С учетом (7, 8) выражение (14) преобразуется к виду:

$$\delta N = \Delta N + 8,686 \ln \frac{\sqrt{1 + a^2}}{\frac{2 \varepsilon_c'' Q_{HO}}{B} + 1}. \quad (15)$$

Учитывая, что в диапазоне очень малых влагосодержаний ($\varepsilon'' \approx 10^{-3}$),

$$1 + a^2 \approx 1 + Q_{HO}^2 \Delta \varepsilon''^2(W), \quad (16)$$

Подставляя (16) в (15) и полагая, что

$(2\varepsilon_c'' / B)Q_{H0} \ll 1$, имеем

$$\delta N = \Delta N + 8,686 \ln \sqrt{1 + Q_{H0}^2 \Delta \varepsilon''^2(W)}; \quad (17)$$

$$\Delta \varepsilon''^2 = 4 \left[\left(\sqrt{\varepsilon_c'} - 1 \right) \Phi + 1 \right]^2 \frac{W^2 \Phi^2 \rho_0^2}{\rho_H^2}. \quad (18)$$

Таким образом, параметр преобразования δN возрастает с увеличением влагосодержания быстрее, чем функция ΔN . Следует, однако, отметить, что рассмотренный выше способ может быть пригоден только в диапазоне очень малых влагосодержаний, т. е. при увеличении W добавка к ΔN становится настолько большой, что ослабление $\delta N + N_0$ намного превышает 60 дБ. Кроме того, необходимо очень точно фиксировать коэффициент заполнения Φ . В связи с изложенным, данный параметр преобразования может быть использован только при очень точных измерениях в диапазоне сверхмалых влагосодержаний ($W < 0,1\%$), там, где другие резонаторные методы недостаточно чувствительны.

Рассмотренные методы основаны на измерении только одного параметра, связанного с ε' (W, Φ) либо ε'' (W, Φ). Исключить влияние коэффициента заполнения Φ можно, не выделяя в явном виде влажность материала W введением так называемого А-параметра [3]:

$$A(W) = k \frac{\varepsilon''}{\varepsilon' - 1}, \quad (19)$$

где $k = \frac{1 + \sqrt{\varepsilon'}}{\sqrt{\varepsilon'}} = 1 \div 2$ (при изменении

ε' от 1 до ∞).

Измеряя переходное ослабление ΔN резонатора и уход его резонансной частоты Δf , что не вызывает принципиальных трудностей в технической реализации, получаем алгоритм определения влажности, свободный от влияния коэффициента заполнения Φ :

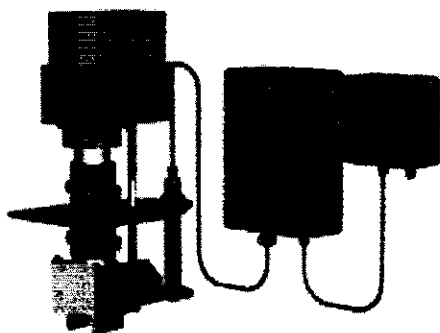


Рис.2. Влагомер "Микрорадар-114": а) внешний вид; б) вариант его установки в технологической линии производства сахара

$$A(W) = k_1 \frac{\exp(\Delta N / 8.686) - 1}{\Delta f}, \quad (20)$$

где $k_1 = k_0 \frac{f_0}{2Q_{H0}}$.

На основе этого алгоритма построены принципиальные схемы СВЧ-влагомеров табака, чая, продуктов свеклосахарного производства, сухого молока и казеина.

Диэлектрические свойства исходных компонентов при производстве сахара и сухого молока диктуют применение как весьма чувствительных методов, так и обязательного контроля двух параметров, связанных с ε' и ε'' этих материалов. Этим условиям удовлетворяет резонаторный двухпараметрический метод и модификации серийных приборов семейства "Микрорадар-114" производства ООО "Микрорадар-сервис", г. Минск.

Установка резонаторного СВЧ-влагомера "Микрорадар-114" для непрерывного контроля влажности в свеклосахарном производстве возможна в различных точках технологической линии, что позволит автоматизировать процесс уваривания утфеля на этапе кристаллизации в вакуум-аппаратах. Установка влагомера после центрифугирования позволяет управлять работой и подавать на сушилку сахар известной влажности.

Применение влагомера на выходе сушильной установки дает возможность автоматизации этого технологического процесса. На рис. 2. показан внешний вид одной из модификаций "Микрорадара-114" и варианты установки прибора в различных точках технологического процесса.

На рис. 3. приведена градуировочная зависимость влагомера. Абсолютная погрешность измерения готового сахара не более $\pm 0,03\%$ (в диапазоне изменения влажности $0 \div 3\%$).

Производство сухого молока в настоящее время основано на высушивании исходного сырья в распылительных сушилках, причем влажность в этих процессах является фактором, определяющим качество готового продукта.

Так же, как и в свеклосахарном производстве, технологический процесс получения сухого молока предполагает контроль влажности в нескольких точках:



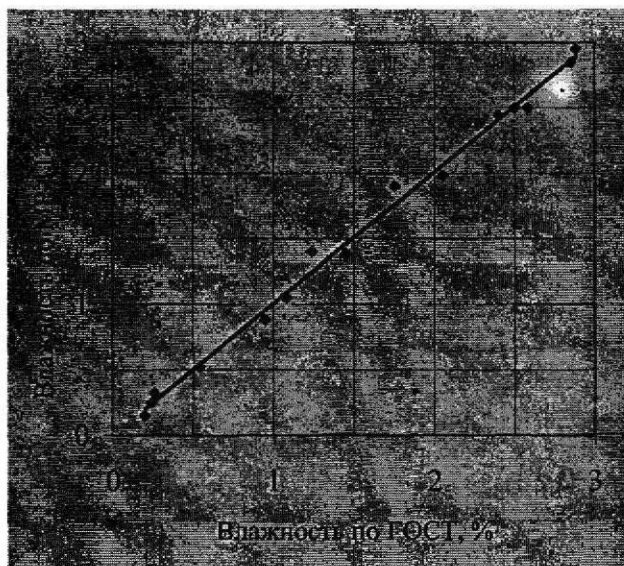


Рис.3. Градуировочная зависимость влагомера «Микрорадар-114» для сахара

- на выходе продукта из конвекционного сушильного агрегата;
- после вибросита перед подачей готового продукта на расфасовку.

Применение «Микрорадара - 114» для автоматизации технологического процесса сушки молока позволяет управлять работой конвекционных сушилок и поддерживать влажность в необходимых пределах. Пересушка продукта ведет к распаду белков и ухудшению качества сухого молока при значительном перерасходе тепловой энергии, недосушка также влияет как на качество, так и на снижение срока хранения.

Технологическая схема процесса производства сухого молока с вариантами установки прибора приведены на рис. 4.

Прибор обеспечивает:



Рис. 4. Технологическая схема процесса производства сухого молока с вариантом установки влагомера «Микрорадар - 114»

- 9 разных градуировок;
- усреднение результата;
- связь с компьютером в стандарте RS 485;
- возможность диагностики;
- стандартный токовый выход.

Диапазон измерения влажности сухого молока 2-7%. Основная абсолютная погрешность измерения в этом диапазоне $\Delta W \leq 0,3\%$ Градуировочная зависимость для сухого молока приведена на рис. 5.

Применение двухпараметровых методов в СВЧ-влагометрии сыпучих сельскохозяйственных материалов позволяет существенно повысить точность измерения влажности за счет учета влияния плотности (коэффициента заполнения), указанные методы, однако, эффективны при сравнительно небольших колебаниях плотности (в пределах 2,5 – 3 раза) и относительно узком диапазоне изменения влагосодержания. Дальнейшее повышение точности измерения влажности возможно за счет комбинации СВЧ-методов с другими физическими, например СВЧ-акустическим методом[3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бензарь В.К. Техника СВЧ-влагометрии. – Мн: Вышэйшая школа, 1974. – 352с.
2. Renhart, I.: The Control of Moisture of Rocks by Methods of Microwave Aquametry. 4th International Conference on “Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances”, Weimar, 2001, pp.372-379.
3. Lisovsky V.V. Automatic Control of Moisture in Agricultural Products by Methods of Microwave Aquametry. 6Th International Conference on “Elektromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances”. Weimar, Germany.2005. pp.375 – 383.

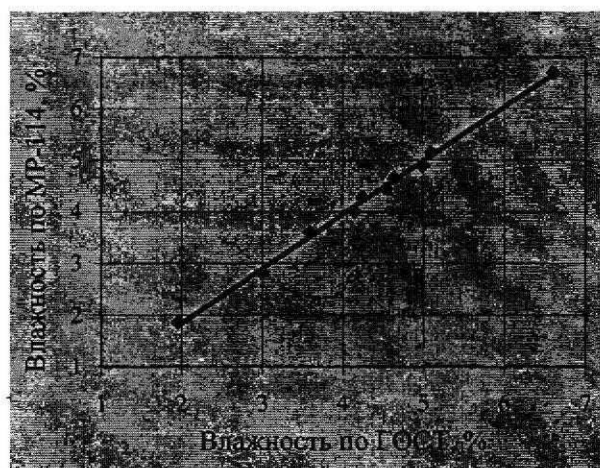


Рис.5. Градуировочная зависимость влагомера «Микрорадар - 114» для сухого молока