

ГРАДУИРОВКА И ПОВЕРКА ВЛАГОМЕРОВ

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

Разработка средств экспрессного измерения влажности высокого класса точности немислима без решения задач метрологического обеспечения процесса определения количественных характеристик влажностного состояния вещества. Одной из основных характеристик этого состояния является влажность.

Теоретически влажность твердого вещества – это количественная характеристика, определяемая массовой долей воды в пробе исследуемого материала. На практике ее вычисляют как

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{вл}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $m_{\text{вл}}$ – масса влажного образца,

$m_{\text{сух}}$ – масса обезвоженного (абсолютно сухого) образца.

Измерение $m_{\text{вл}}$ с требуемой точностью особого труда не составляет, тогда как определение границы между абсолютно сухим веществом и веществом, содержащим некоторое количество адсорбционно связанной воды, представляет собой сложную задачу.

Существуют различные методы измерения влажности, которые можно разделить на две большие группы – прямые и косвенные. На практике прямые методы используются для особо точных и контрольно-поверочных измерений, когда требуемая точность не обеспечивается существующими косвенными методами. В то же время прямые методы обладают рядом существенных недостатков, таких как длительность процесса, разрушение образцов и др. Так, по Гильбо [1], достижение абсолютно сухого состояния для зерна при условии сохранения летучих соединений возможно при вакуумной сушке (50 °С) в течение более 160 часов, что совершенно неприемлемо для технических измерений. Что касается методов ускоренной сушки зерна по ГОСТ 13586.5 -93, то при более чем получасовом анализе они дают относительную погрешность измерения влажности до 3%, т.е. на уровне современных лабораторных СВЧ-влажномеров.

Для решения большинства практических задач определения влажностного состояния веществ в настоящее время применяют экспресс-влажномеры, основанные на зависимости от влажности различных физико-химических свойств материалов.

Влагомер – это прибор, предназначенный для измерения, контроля и регулирования влажности вещества в различных технологических процессах.

Поверка влагомера – это установление метрологическим органом его реальной погрешности и выдача заключения о пригодности данного прибора к применению.

Градуировка влагомеров

Влагомер как средство измерения имеет ряд особенностей. Поскольку большинство влагомеров основано на косвенных методах измерения, то важнейшей задачей является его качественная градуировка, т.е. установление функциональной зависимости между некоторой физической величиной и влажностью данного материала. Обычно эта зависимость является статистической и при градуировке устанавливается среднее значение параметра для данной влажности вещества. В результате получают усредненную номинальную градуировочную характеристику влагомера, которая может не соответствовать ни одной из разновидностей контролируемого вещества (например, во влагометрии зерна может быть только пшеницы свыше 100 разновидностей).

На рис. 1 приведена градуировочная характеристика высокочастотного влагомера зерна, взятая из [1], откуда видно, что ни одна из зависимостей емкости от влажности конкретного типа полностью не совпадает с усредненной (номинальной) характеристикой влагомера. Т.е. погрешность измерения влажности для данного прибора

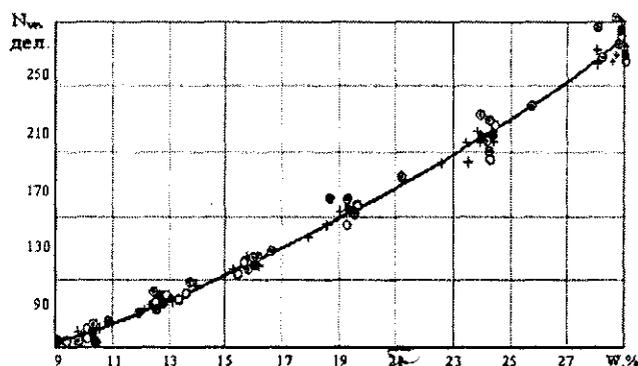


Рис. 1. Градуировочная характеристика высокочастотного влагомера зерна

не является величиной постоянной. Она может быть нормирована не конкретным значением, а возможным ее пределом при заданной доверительной вероятности.

Таким образом, при поверке влагомеров необходимо проверить погрешность воспроизведения номинальной градуировочной характеристики влагомера и тем самым установить пригодность прибора к эксплуатации. В случае превышения допустимого отклонения провести

его переградуировку.

Влагомеры твердых веществ, в отличие от других средств измерения, необходимо поверять как приборы для измерения физических величин, функционально связанных с влажностью, а также непосредственно как прибор для измерения влажности. Кроме того, необходимо учитывать, что фактически все влагомеры обладают мультипликативной погрешностью, которая обычно увеличивается с ростом влажности (рис.2) [1].

Методики градуировки влагомеров, основанных на различных физических принципах, имеют значительные различия. Ниже, в качестве примера приведем методику градуировки лабораторного СВЧ-влагомера «Микро-радар-101», изложенную в его техническом описании и инструкции по эксплуатации. Условия градуировки: температура образцов и окружающей среды – $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Процедура выполнения операций следующая.

Приготовить образцы материала, влажность которого необходимо измерять, первую пробу с влажностью, близкой к минимальной, десятую – с влажностью, близкой к максимальной. Остальные восемь проб по влажности должны располагаться равномерно между первой и десятой. Тщательно перемешать пробы и поместить их в хорошо закрывающиеся емкости или завязывающиеся полиэтиленовые пакеты. Пронумеровать их. Выдержать при комнатной температуре не менее 8 часов. По ГОСТ 13586.5-93 измерить влажность приготовленных проб, по три раза каждую, результаты усреднить и записать как $W_1 \dots W_{10}$ соответственно.

Включить прибор и прогреть его в течение 60 мин. В соответствии с ТО измерить по прибору влажность десяти проб, по три раза каждую, усреднить и записать

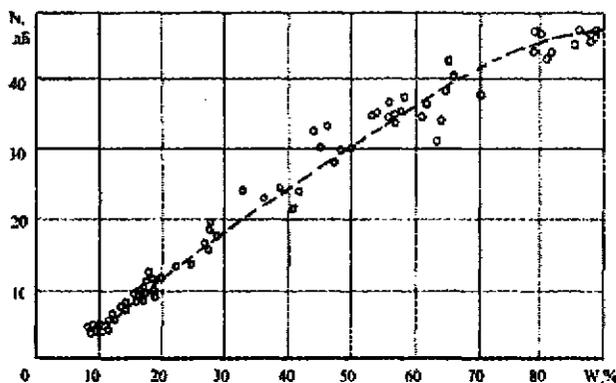


Рис. 2. Зависимость затухания СВЧ-энергии (N) от влажности (W) березовой древесины

как $M_1 \dots M_{10}$ соответственно.

Построить график зависимости $M(W)$ (рис 3). Определить точку пересечения графика с осью M и обозначить эту точку M_0 . Вставить в установочное отверстие имитатор. Не нажимая кнопку «0», измерить показания имитатора по прибору. Отложить на оси M значение имитатора по прибору и определить имитационную влажность $W_{им}$, как показано на рис. 3.

Нажать кнопку «К» (на боковой панели справа).

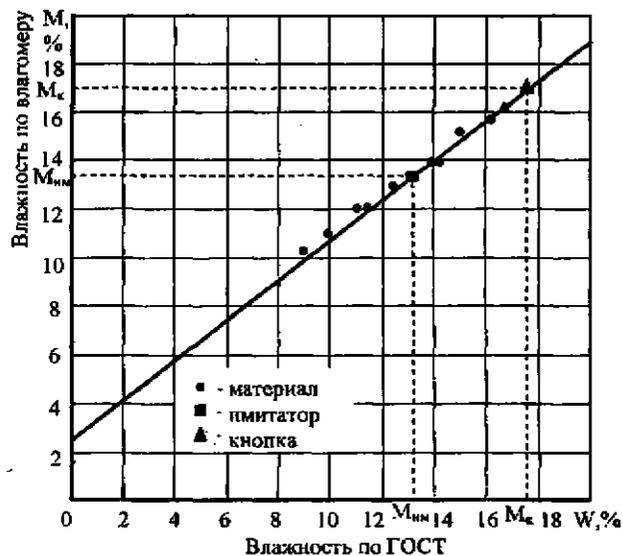


Рис. 3. Градуировочная зависимость влагомера «Микро-радар-101»

Записать показания прибора при нажатой кнопке «К» – M_k . Отложить его на оси M графика. Определить по графику имитационную влажность W_k .

Потенциометром «К» (на нижней панели справа) установить на приборе при нажатой кнопке «К» значение W_k (при вставленном в прибор имитаторе).

Не нажимая кнопку «0», при вставленном в прибор имитаторе, потенциометром «0» установить на приборе значение $W_{им}$.

Повторить два предыдущих пункта несколько раз до получения на приборе W_k при нажатой кнопке «К» и $W_{им}$ при вставленной ячейке и ненажатой кнопке «0». Градуировка закончена.

На отградуированном приборе нажать кнопку «К». Записать показания прибора как $K_{им}$. Вставить имитатор и нажать кнопку «0». Записать показания прибора как $M_{им}$. Для данного материала эти значения $K_{им}$ и $M_{им}$ однозначно определяют градуировочную характеристику прибора и используются для проверки и подстройки при работе. Прибор к работе готов.

Проверка влагомеров

Методика проверки влагомера лабораторного «Микро-радар-101» подробно изложена в МП-365МН-98. Ее основные положения следующие.

Влагомер лабораторный «Микро-радар-101» (далее влагомер) предназначен для экспрессного измерения влажности муки и макаронных изделий стандартных составов в лабораторных и цеховых условиях методами микроволновой влагометрии с погрешностью не меньше 0,35%. Принцип действия влагомера основан на изменении величины поглощения СВЧ-энергии влажным материалом в волноводном тракте влагомера и преобразовании этой величины в цифровой код, соответствующий влажности материала. Влагомер обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения от

1. Перечень технических средств для поверки влагомера

Наименование операции	Номер пункта НД по поверке	Наименование образцового средства измерения, номер документа, регламентирующего технические требования к нему: разряд, класс точности, ГОСТ
Определение сопротивления изоляции	9.3	Мегомметр М4100/03 погрешность $\pm 1\%$
Определение абсолютной погрешности и диапазона измерения влажности	9.4	Образцовая вакуумно-тепловая установка типа УВТО с комплектом вспомогательного оборудования по ГОСТ 8.432-81 Диапазон измерения влажности – 5... 45% Предел допускаемого значения абсолютной погрешности – $\pm 0,1\%$ Диапазон регулируемой температуры в сушильной камере – 100... 140 °С Пробы муки по ГОСТ 27668-88 Пробы макарон по ГОСТ 14849-89

изменения температуры влажности муки и макаронных изделий. Периодичность поверки влагомера – 12 месяцев.

Операции поверки: внешний осмотр, опробование, определение сопротивления изоляции, определение метрологических характеристик, обработка результатов измерений.

При проведении поверки должны применяться средства, указанные в табл. 1.

К проведению измерений при поверке и обработке результатов измерений допускают лиц, аттестованных в качестве поверителей в порядке, установленном Госстандартом Беларуси.

При проведении поверки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.2.007.0-75 «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденные Госэнергонадзором.

Лица, проводящие поверку, должны быть ознакомлены с правилами (условиями) безопасной работы влагомера и средств поверки, приведенными в их эксплуатационной документации.

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С – 20 ± 5 ;

- относительная влажность окружающего воздуха, % – от 30 до 80;

- атмосферное давление кПа – от 84 до 106;

- напряжение питания сети, В – $220 \pm 10\%$;

- частота питающей сети, Гц – 50 ± 1 ;

- механические воздействия, вибрация, внешние электрические и магнитные поля, кроме земного, отсутствуют;

- перед проведением поверки влагомеры должны быть выдержаны в помещении, в котором будет осуществляться поверка, не менее 24 часов.

Для проведения поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- подготовить образцовые средства измерений к работе в соответствии с их техническим описанием или инструкцией по эксплуатации;

- подготовить влагомер к работе, для чего необходимо: подключить влагомер к сети переменного тока; включить влагомер, время установления рабочего режима – не менее 15 мин.

Проведение поверки

При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие влагомера следующим требованиям:

- отсутствие механических повреждений на поверхности влагомера, влияющих на точность измерений;

- наличие маркировки и необходимых надписей на наружных панелях влагомера;

- соответствие комплектности требованиям НД на влагомер.

При опробовании проводят проверку работоспособности и операции, предусмотренные эксплуатационной документацией на поверяемый влагомер:

- при проверке работоспособности влагомера проверяют исправность индикатора, возможность установки калибровочного значения, указанного в эксплуатационной документации;

- для проверки работоспособности схемы автоматической коррекции температуры исследуемого материала следует нажать кнопку «0» (на левой боковой панели прибора). Показания цифрового индикатора должны возрасти на величину, указанную в инструкции по эксплуатации влагомера с точностью 0,2%.

Если не выполняется хотя бы одно требование внешнего осмотра, влагомер бракуется и направляется в ремонт.

Проверка сопротивления изоляции между контактом сетевой вилки и корпусом влагомера осуществляется при помощи мегомметра. Напряжение постоянного тока при

измерении выбирают равным (500 ± 10) В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 20 Мом.

Определение метрологических характеристик

Определение абсолютной погрешности и диапазона измерения влажности проводят на муке или макаронах (или на том и другом материалах в зависимости от применения), при помощи вакуумно-тепловой установки типа УВТО с диапазоном измерения влажности 5-45%, пределом допускаемого значения абсолютной погрешности $\pm 0,10\%$; диапазоном регулируемой температуры в сушильной камере 100-140 °С. В состав образцовой вакуумно-тепловой установки входят: сушильная камера с терморегулятором и вакуумным насосом; бюксы для зерна и макаронных изделий с измельчающим устройством; бюксы для отбора навесок; лабораторные равноплечие весы 2-го класса с предельной нагрузкой 200 г; эксикаторы 2-250 по ГОСТ 6371-73; сита из проволочной сетки с отверстиями диаметром 0,8 мм и 1 мм.

Измерения на образцовой вакуумно-тепловой установке осуществляются в соответствии с методикой выполнения измерений по ГОСТ 8.432-81. Пробы отбираются в соответствии с требованиями:

для муки и отрубей – ГОСТ 14849-89;

для макаронных изделий – ГОСТ 14849-89.

Масса отобранных проб должна быть от 0,9 до 1,1 кг каждая и значение влажности их должно составлять (0 - 20)%, (40 - 60)%, (80 - 100)% диапазона измерения.

От пробы, влажность которой составляет от 0 до 20% диапазона измерения, отбирается по шесть навесок массой по $(10 \pm 0,1)$ г каждая для измерений на образцовой вакуумно-тепловой установке и шесть навесок массой по $(100 \pm 0,1)$ г каждая для измерений влажности влагомером.

Значение влажности каждой навески $W_{нi}$ определенных на образцовой вакуумно-тепловой установке, в процентах рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_b} \cdot 100 - K, \quad (2)$$

где m_b – масса навески до подсушивания, г;

m_c – масса навески после обезвоживания, г;

K – коэффициент коррекции, принимаемый в соответствии с рекомендациями ГОСТ 8.432-81.

За результат измерения на образцовой вакуумно-тепловой установке принимают среднее арифметическое значение влажности шести навесок исследуемого материала, высушенных одновременно, если максимальное расхождение между ними не превышает 0,10% по формуле:

$$\bar{W}_H = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n W_{Hi}. \quad (3)$$

В случае, если максимальное расхождение между ними превышает 0,10%, необходимо повторить операции по определению влажности.

С помощью влагомера измеряют влажность поочередно

каждой из шести навесок, которые были отобраны для измерения влагомером, помещая в измерительную кювету прибора необходимую массу материала в соответствии с инструкцией по эксплуатации (за результат измерения влажности принимается среднее арифметическое значение двух измерений одной и той же пробы, если расхождение между ними не превышает 0,2%). Вычисляют среднее значение

$$\bar{W}_{изм} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 W_{изм j}, \quad (4)$$

где $W_{изм j}$ – значение влажности j -той навески по влагомеру;

j – номер навески, $j = 1, 2, \dots, 6$.

Поочередно повторяют операции определения влажности влагомером для оставшихся проб, влажность которых составляет (40 - 60)% и (80 - 100)% диапазона измерений. Абсолютная погрешность измерения влажности определяется как разность между показаниями влагомера и значением влажности, полученным на образцовой вакуумно-тепловой установке, и подсчитывают по формуле:

$$\Delta = \bar{W}_{изм} - \bar{W}_H. \quad (5)$$

Абсолютная погрешность измерения влажности влагомером не должна превышать $\pm 0,35\%$.

Все полученные результаты заносят в протокол. Результаты поверки считают положительными, и влагомеры признают годными к применению, если они отвечают требованиям методики МП-365 МН-98. Положительные результаты поверки оформляют путем выдачи свидетельства о Государственной поверке по форме, установленной СТБ 8003-93.

При отрицательных результатах поверки выдается извещение о непригодности по форме, установленной СТБ 8003-93, с указанием причин несоответствия. Влагомеры, не прошедшие поверку, к применению не допускаются. Предыдущее свидетельство аннулируется.

Поверочные схемы влагомеров твердых веществ и материалов

Наиболее отработанная и опробованная на практике в настоящее время поверочная схема влагомеров зерна (ГОСТ 8.480 - 92).

На рис.4 приведена модифицированная поверочная схема влагомеров зерна и продуктов его переработки с учетом новых разработок устройств контроля влажности высокого класса точности, появившихся в последнее десятилетие [2].

В поле эталонов данной поверочной схемы размещена образцовая установка высшей точности. Она является групповым средством измерений и состоит из трех образцовых вакуумно-тепловых установок типа УВТО, подробно описанных в [1]. Диапазон измерения влажности данного группового средства -

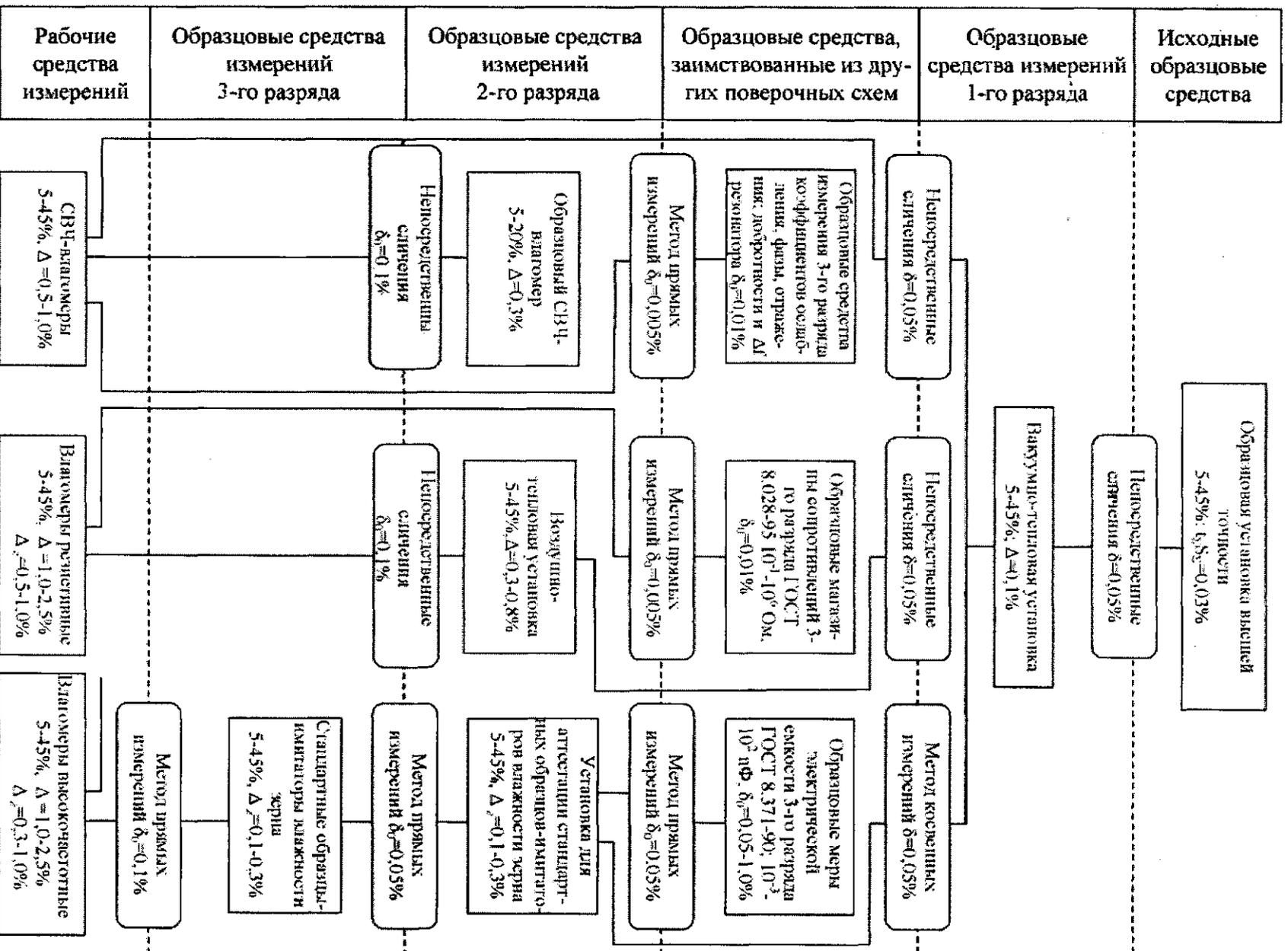


Рис. 4. Поверочная схема влагомеров зерна

5...45%, среднее квадратичное отклонение результата измерения влажности молотого зерна не превышает $\pm 0,03\%$.

Образцовая установка позволяет методом непосредственных сличений результатов измерений влажности зерна проверить диапазон измерений и основную погрешность вакуумно-тепловых установок 1-го разряда, эксплуатируемых производителем лабораторных СВЧ-влажномеров научно-производственным предприятием «Микрорадар» (г. Минск), а также головными органами ведомственных метрологических служб Госстандарта РБ и РФ. Погрешность измерения влажности УВТО $\pm 0,1 - 0,2\%$ при диапазоне 5 - 45% влажности. В свою очередь, вакуумно-тепловая установка 1-го разряда позволяет также методом непосредственных сличений поверять влагометрические установки 2-го разряда, основанные на методе высушивания проб зерна при атмосферном давлении по ГОСТ 29027 - 91 (погрешность таких установок 0,3...0,8%), а также лабораторные СВЧ-влажномеры зерна серии «Микрорадар» (абсолютная погрешность измерения которых в диапазоне 8...35% составляет $\pm 0,35\%$).

В качестве образцовых средств измерений, заимствованных из других поверочных схем, на рис. 4 показаны образцовые меры емкости по ГОСТ 8.371 - 90 и ГОСТ 8.267 - 87 (для поверки емкостных высокочастотных влагомеров), а также образцовые меры сопротивления (для поверки резистивных или кондуктометрических влагомеров) по ГОСТ

8.028 - 89 и другие средства (секундомеры, термометры и др.). Пределы допускаемых значений относительной погрешности мер емкости не должны превышать 0,1%, мер сопротивления - 0,01%.

При построении поверочных схем влагомеров других материалов в них могут быть включены специально созданные для целей поверки и дополнительного контроля в межповерочный интервал имитаторы физических свойств влажного материала, как, например, в случае с измерителем влажности «Микрорадар -101». Такие имитаторы могут входить в комплект поставки прибора.

Изложенное выше показывает важность разработки современных методов поверки влагомеров и их стандартизации. Без решения вопросов метрологического обеспечения процессов измерения влажности невозможно обеспечить единство измерений и достоверность получаемых результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романов В.Г. Поверка влагомеров твердых веществ. - М.: Изд-во стандартов, 1983. - 176с.
2. Лисовский В.В. Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов. - Мн.: БГАТУ, 2005. - 292с.

УДК 621.521:664

ГИДРОАЭРОДИНАМИКА ЩЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ ВОЗДУХА ВАКУУМНОГО НАСОСА

М.В. Колончук, инженер (РУП «Минскэнерго»)

Производительность ротационных вакуумных насосов, применяемых для доения коров на молочно-товарных фермах, в процессе работы снижается. Основная причина снижения производительности - увеличение торцовых зазоров. Зазоры между деталями в рабочем пространстве вакуумного насоса образуют щели малой высоты (рис. 1,а). Протечки воздуха через зазоры составляют значительную часть производительности насоса. Относительная величина протечек определяет значения

коэффициента откачки, удельной мощности, коэффициента полезного действия и вид характеристик насосов. Изучению движения воздуха в щелях посвящен целый ряд работ. Определение расхода воздуха через щель по любой из существующих методик является довольно громоздким и трудоемким. Объективно существующие закономерности, разграничивающие ламинарный или турбулентный характер движения, докритическое или критическое истечение воздуха, вынуждают использовать