

МОДЕРНИЗАЦИЯ КВАРЦЕВОГО ВЛАГОМЕРА ВК-2

В.Е. САВЧЕНКО, Л.К. ГРИБОВА, Д.С. РЯБЦЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия, ОАО "НИЭКМИ")

Контроль и регулирование влажности текстильных материалов (ТМ) и их полуфабрикатов имеют большое значение для обеспечения качества продукции при минимальных энергетических и трудовых затратах [1].

При модернизации кварцевого влагомера текстильных материалов ВК-2 [2] в ОАО "НИЭКМИ" разработан прибор ИВК-4, в котором благодаря применению оригинальной схемы и новейших электронных элементов на единственном диапазоне с достаточной точностью контролируются все известные текстильные полотнообразные материалы (влагомер ВК-2 имел 4 диапазона, что вызывало неудобство при его эксплуатации).

В приборах реализован энергетический метод контроля влажности твердых диэлектриков, заключающийся в применении кварцевого диссипативного преобразователя электрической энергии (КДП-Э) [3], включающего последовательно соединенные вакуумный кварцевый резонатор и контактный емкостный роликовый датчик, катящийся по движущемуся ТМ (ткацкой основе или ткани) [4], [5].

Особенностью энергетического метода контроля влажности, реализованного в приборах ВК-2 и ИВК-4, является автоматическое измерение изменений эквивалентного электрического сопротивления цепи, состоящей из последовательно включенных вакуумного кварцевого резонатора и емкостного датчика.

При возбуждении кварцевого резонатора (КР) на частоте последовательного резонанса динамическая индуктивность КР (L) и его динамическая емкость (C) взаимно компенсируются, обеспечивая минимальное динамическое сопротивление КР (R). При включении последовательно с КР емкостного датчика емкостью C_d происходит сдвиг частоты КР от его резонансной частоты, что приводит к увеличению

его динамического сопротивления из-за неполной компенсации индуктивного сопротивления КР (ωL) емкостным ($1/(\omega C)$). Полной компенсации сопротивлений препятствует междуэлектродная емкость КР (C_0).

Значение активного сопротивления цепи КР – емкостный датчик (без потерь) R_a можно рассчитать по формуле [4]:

$$R_a = R(1 + C_0/C_d). \quad (1)$$

При наличии в емкостном датчике диэлектрических потерь, определяемых сопротивлением R_d , к сопротивлению R_a следует прибавить активное сопротивление емкостного датчика $R_{ад}$, связанного с диссипацией энергии электрического поля в контролируемом диэлектрике, то есть в ТМ, находящемся в емкостном датчике:

$$R_{ад} = R_d / (1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2). \quad (2)$$

Благодаря частичной компенсации емкостного сопротивления датчика индуктивным сопротивлением КР высокие сопротивления контролируемого материала преобразуются в меньшие, что позволяет с помощью приборов ВК-2 и ИВК-4 измерять очень незначительные активные потери в ТМ, а значит и контролировать малые влагосодержания материалов из синтетических и искусственных волокон и их смесей с другими волокнами, что невозможно осуществить измерительными устройствами с обычными колебательными контурами, содержащими индуктивность и емкость, а также известными приборами контроля влажности ТМ на постоянном токе.

Расчеты показывают, что с помощью КДП-Э можно легко контролировать активное сопротивление порядка 10 Гом с погрешностью не более $\pm 1\%$ при емкости

датчика 4 пФ. Если использовать датчик емкостью 1 пФ, то тогда можно измерять сопротивление потерь более 100 ГОм.

В приборе ИВК-4 применен вакуумный кварцевый резонатор с резонансной частотой 100 кГц и контактный роликовый датчик, катящийся по ткани, движущейся на заземленном направляющем валу машины. Роликовый датчик и направляющий вал машины образуют емкость (C_d), которая при замещении контролируемого ТМ фторопластовой пленкой толщиной 0,1 мм (ГОСТ 24222-80) составляет примерно 66 пФ.

В приборе ВК-2 был применен щеточный контакт в измерительном ролике, катящемся по ткани. В приборе ИВК-4 он заменен воздушным конденсатором, образованным подвижным цилиндром ролика и внутренним цилиндром, связанным со схемой прибора, что значительно повышает надежность прибора.

Зазор между внешним и внутренним цилиндрами (0,5 ... 1,0 мм) определяет емкость полученного воздушного конденсатора порядка 150...200 пФ, подключаемую между емкостным датчиком и КР. Емкость такой величины мало сказывается на характеристиках прибора.

При всех своих достоинствах прибор ВК-2 имеет существенный недостаток, заключающийся в наличии в приборе нескольких диапазонов для обеспечения точности контроля различных ассортиментов

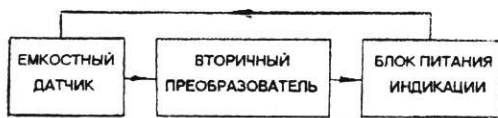


Рис.1

Эквивалентная схема КДП-Э с элементами схемы прибора ИВК-4 и схемы пересчета приведены на рис. 2.

На рис. 2-а показана емкость зазора в ролике датчика C_3 , включенная последовательно с параллельной цепочкой C_d-R_d . Параллельно им включены емкость монтажа C_m и так называемая шунтирующая емкость $C_{ш}$, введенная для установки не-

и диапазонов влажности. При частой смене ассортимента возникает необходимость переключения диапазона, что вызывает неудобство в эксплуатации влагомера.

При разработке прибора ИВК-4 применена новая элементная база. В частности, применение микросхем КР544УД и УД708 позволило линеаризовать выходную характеристику прибора по влажности ТМ на одном диапазоне прибора, обеспечив высокую точность контроля влажности в широком диапазоне влажностей. При этом методика настройки прибора и его эксплуатация значительно упростилась.

Основные технические характеристики прибора:

- диапазон контролируемой влажности (*) 2...20% ;
- порог чувствительности к влажности 0,2% ;
- рабочий диапазон температур 25...55°C ;
- масса прибора 8 кг ;

(*) – верхний предел диапазона контролируемой влажности может быть уменьшен по желанию потребителя, что повысит точность прибора при контроле низких и средних влажностей.

В соответствии со структурной схемой прибора (рис.1) ИВК-4 содержит КДП-Э с емкостным первичным преобразователем (датчиком), вторичный преобразователь (автогенератор, выполненный по мостовой схеме) и блок питания-индикации.

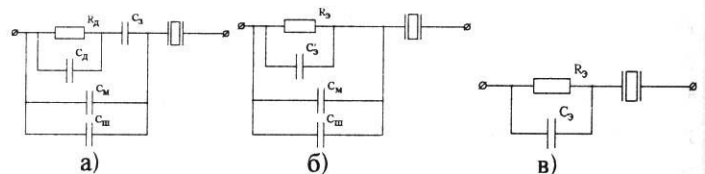


Рис. 2

обходимого диапазона контролируемых активных сопротивлений. Эта схема сложна для проведения теоретических расчетов характеристик прибора. Она может быть упрощена, то есть пересчитана в схему, приведенную на рис. 2-в.

На первом этапе упрощения схемы, приведенной на рис.2-а, параллельная цепочка C_d-R_d с последовательно подклю-

ченной к ним емкостью зазора в ролике C_3 пересчитывается в параллельную схему, содержащую параллельно включенные R_3 и C_3' (рис.2-б), которые можно рассчитать методом комплексного переменного [6].

Полная проводимость этой цепочки Y_3 и полное ее сопротивление Z_3 соответствуют выражениям:

$$Y_3 = 1/R_3 + j\omega C_3', \quad (3)$$

$$Z_3 = 1/Y_3 = 1/(j\omega C_3) + 1/Y_3, \quad (4)$$

$$R_3 = (1 + \omega^2 R_d^2 (C_d + C_3)^2) / (\omega^2 R_d C_3^2), \quad (6)$$

$$C_3' = (C_3 + \omega^2 R_d^2 C_d C_3 (C_d + C_3)) / (1 + \omega^2 R_d^2 (C_d + C_3)^2). \quad (7)$$

Для получения упрощенной схемы, приведенной на рис.2-в, рассчитывается общая эквивалентная емкость C_3' , включающая шунтирующую емкость $C_{ш}$ и емкость монтажа C_m :

$$C_3 = C_3' + C_m + C_{ш}. \quad (8)$$

Расчет выходного параметра прибора ИВК-4, то есть активного электрического сопротивления КДП-Э (R_a) с учетом эквивалентной схемы, приведенной на рис. 2-в, может быть проведен по выражению:

$$R_a = R(1 + C_0/C_3)^2 + R_3 / (1 + \omega^2 C_3^2 R_3^2). \quad (9)$$

Настройка прибора проверяется по активным постоянным резисторам с номинальными сопротивлениями 6000, 569 и 47 кОм ($\pm 0,25\%$), которые впаяются в специальную оправку с определенными параметрами. Полученные таким образом штекеры применяются для первичной поверки

где Y_d – проводимость датчика с контролируемым материалом или эквивалентной им параллельной цепи C_d - R_d :

$$Y_d = 1/R_d + j\omega C_d. \quad (5)$$

После преобразований выражения (4) в комплексную дробь определяется проводимость упрощенной параллельной цепи C_3' - R_3 в виде комплексного числа, содержащего действительное и мнимое слагаемые, которое сравнивается с (3) для получения выражений для расчета R_3 и C_3' (рис. 2-б):

прибора при выпуске из производства [7].

Датчик прибора закрепляется на специальном стенде так, что ролик датчика устанавливается соосно с валом стенда, имитирующим направляющий вал текстильного оборудования (шлихтовальной или сушильной машины). Штекеры подключаются между роликом датчика и валом стенда, между которыми помещена пленка из фторопласта-4 (ГОСТ 24222–80) толщиной $(0,1 \pm 0,01)$ мм размером 110×50 мм. Ролик датчика должен давить на поверхность вала стенда, обеспечивая силу прижатия $(15,0 \pm 2,0)$ Н или $(1,5 \pm 0,2)$ кгс.

Для получения выходной характеристики прибора по последовательному эквивалентному электрическому сопротивлению применяется магазин активных резисторов от 0 до 10 кОм ($\pm 0,25\%$). Расчетные и экспериментальные характеристики прибора ИВК-4 с указателем от 0 до 100 мкА приведены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Исходные данные		Результаты расчетов по (6), (7), (8), (9)				Показания прибора, отн. ед		Расхождение, %
R_d , кОм	C_d , пФ	R_3 , Ом	C_3' , пФ	C_3 , пФ	R_a , Ом	эксперимент	расчет	
6000	66	12442	45,8	90,8	256,7	2	2,2	9,1
569	66	1180	45,9	90,9	492,0	45	49	8,2
47	66	99,854	48,3	93,3	3060,8	95	100	5,0

Параметры кварцевого резонатора: $C_0=7$ пФ; $R=200$ Ом; $\omega=2\pi f$; $f=100$ кГц. Па-

раметры схемы прибора ИВК-4: $C_d=66$ пФ; $C_m=12$ пФ; $C_{ш}=33$ пФ; $C_3=150$ пФ. Экспери-

ментальные значения показаний прибора получены при подключении параллельно датчику штекеров разных номинальных сопротивлений (R_d). Расчетные показания прибора получены по выходной характеристике прибора по последовательному эквивалентному электрическому сопротивлению и по рассчитанным значениям R_a .

Из табл.1 видно, что правомерность расчетов подтверждается с погрешностью не более 10 %.

Прибор ИВК-4 был установлен на шлихтовальной машине ОАО "НИМ", проведены испытания прибора по точности измерения им влажности ткацкой основы.

Точность прибора ИВК-4 при контроле влажности ТМ определяется точностью его градуировки по влажности, то есть получения зависимости показаний прибора от влажности конкретного ТМ, которая проводится в условиях лаборатории и уточняется на текстильном предприятии.

Для градуировки прибора ИВК-4 по влажности использовалась хлопчатобумажная основа после шлихтования ее на шлихтовальной машине ОАО "НИМ". Бы-

ли подготовлены образцы основы размером примерно $15 \times 15 \text{ см}^2$ (края основных нитей склеивались скотчем с обеих сторон). Образцы основы в количестве не менее 3-х штук максимально увлажнялись при относительной влажности 98,7%, обеспечиваемой насыщенным раствором серно-кислого калия (K_2SO_4), помещаемого на дно эксикатора [6]. Образцы основы помещались в эксикатор над насыщенным раствором соли на срок 12...48 ч.

Для градуировки прибора применялся испытательный стенд с отрезком трубы, имитирующим направляющий вал шлихтовальной машины.

Увлажненные образцы основы помещались между роликом датчика и валом стенда и записывались показания прибора ИВК-4. Каждый из образцов помещался под ролик датчика несколько раз (по мере высыхания основы). После каждого измерения влажности основы прибором определялась влажность образца гравиметрическим (весовым) методом по ГОСТу 6611.5-69 (Нити текстильные. Методы определения влажности).

Таблица 2

Образец 1		Образец 2		Образец 3	
показания прибора, отн.ед.	влажность образца по ГОСТу 6611.5-69, %	показания прибора, отн.ед.	влажность образца по ГОСТу 6611.5-69, %	показания прибора, отн.ед.	влажность образца по ГОСТу 6611.5-69, %
44,5	9,1	50,0	10,3	48,5	10,1
30,0	7,0	40,5	8,6	40,5	8,3
15,5	5,6	35,0	7,4	34,0	6,8
15,5	5,6	24,5	6,2	26,0	6,6
10,5	4,5	10,0	4,2	19,0	4,8
7,5	3,2	7,5	3,0	9,0	3,5

Таблица 3

Показания прибора, отн.ед.	7,5	10,0	15,0	21,5	30,0	37,5	41
Влажность х/б основы, %	3,0	4,1	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0

Полученные зависимости показаний прибора от влажности основы и являются градуировочными зависимостями, которые для трех образцов усреднялись, определялось среднее квадратическое отклонение полученных градуировок по трем образцам

при нескольких влагосодержаниях основы. Максимальное отклонение характеризует погрешность градуировки прибора. Результаты градуировки прибора приведены в табл.2 и 3 (табл. 2 – результаты градуировки ИВК-4 на хлопчатобумажной основе; табл. 3 – усредненная градуировочная зависимость ИВК-4).

После установки прибора ИВК-4 на шлихтовальной машине ОАО "НИМ" точность контроля влажности основы проверялась автоматическим прибором.

Влажность основы регулировалась ско-

ростью движения ошлихтованной основы в шлихтовальной машине и давлением пара в сушильных барабанах. В установившемся режиме в конце навоя контролировались показания прибора и помечалось место основы, находящееся в зоне работы датчика прибора, затем машина останавливалась и вырезалась проба основы в отмеченном месте. Проба разделялась на 3 образца массой (110 ± 10) г для определения

влажности основы гравиметрическим методом в кондиционном аппарате по ГОСТу 6611.5–69. Усредненные значения влажности основы сравнивались с влажностью основы, определенной по показаниям прибора и его градуировке (табл.3).

Результаты проверки работы автоматического прибора в условиях производства ошлихтованной основы на шлихтовальной машине ОАО "НИМ" приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры технологического процесса		Влажность основы, %		Расхождение влажности, %
скорость движения основы, м/мин	давление пара в сушильных барабанах, кгс/см ²	по прибору ИВК-4	по ГОСТу 6611.5–69	
89	0,80	3,2	2,5	+0,7
85	0,75	3,0	3,3	-0,3
93	0,80	3,8	2,9	+0,9
91	0,95	3,5	2,9	+0,6
48	0,20	3,0	3,4	-0,4

Как видно из табл.4, абсолютная погрешность работы прибора контроля влажности основы не превышает 0,9 % влажности, что вполне приемлемо для поддержания оптимальной влажности основы на шлихтовальной машине.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ипполитов Я.Я.* Влияние паров воздуха и влажности хлопка на процесс прядения. – М., 1960.
2. *Савченко В.Е., Пушкарев В.В., Иванов А.В.* // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1983, №3. С.105.
3. Кварцевый диссипативный преобразователь и его применение // Измерительная техника. – 2003, №10. С.60...64.

4. *Савченко В.Е.* Теория кварцевого диэлькометра с последовательным включением кварцевого резонатора и емкостного датчика // Метрология (приложение к ж. "Измерительная техника"). – 1985, №2. С.38...45.

5. А.с. 321770 СССР. Устройство для измерения параметров диэлектриков / В.Е. Савченко. – Оpubл. 1971. Бюл. №35.

6. *Берлинер М.А.* Измерения влажности. – Изд-е 2-е перераб. и доп. – М.: Энергия, 1973.

7. *Савченко В.Е., Грибова Л.К., Пушкарев В.В.* // Измерительная техника. – 1987, №6. С.56...57.

Рекомендована кафедрой автоматки и радиоэлектроники. Поступила 04.02.05.