

Экономия
топлива
и электроэнергии

Б. М. Четверухин

КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫМ МИКРОКЛИМАТОМ



СТРОЙИЗДАТ



**Экономия
топлива
и электроэнергии**

Б. М. Четверухин

**КОНТРОЛЬ
И УПРАВЛЕНИЕ
ИСКУССТВЕННЫМ
МИКРОКЛИМАТОМ**

**МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1984**

ББК 38 762
Ч—52
УДК 628.86—52

Печатается по решению секции литературы по инженерному оборудованию редакционного совета Стройиздата

Рецензент канд. техн. наук В. М. Рубчинский

Четверухин Б. М.

Ч-52 Контроль и управление искусственным микроклиматом. — М.: Стройиздат, 1984. — 135 с. — (Экономия топлива и электроэнергии).

Рассматриваются принципы построения локальных и централизованных систем контроля и управления искусственным микроклиматом, использующих в качестве исходной информацию подогреваемых хлористолитиевых первичных измерительных преобразователей влажности. Особое внимание уделяется применению средств вычислительной техники в системах сбора, обработки информации и управления искусственным микроклиматом, расстановке датчиков и выбору экономичных режимов сбора информации о параметрах микроклимата.

Для инженерно-технических и научных работников проектных, научно-исследовательских организаций, а также служб эксплуатации.

Ч $\frac{3206000000-228}{047(01)-84}$ 31—84

ББК 38.762
6С9.4

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, принятых XXVI съездом КПСС, отмечается, что «Главная задача одиннадцатой пятилетки состоит в обеспечении дальнейшего роста благосостояния советских людей на основе устойчивого, поступательного развития народного хозяйства, ускорения научно-технического прогресса и перевода экономики на интенсивный путь развития, более рационального использования производственного потенциала страны, всемерной экономии всех видов ресурсов и улучшения качества работы»*.

На декабрьском (1983 г.) Пленуме ЦК КПСС отмечалась необходимость направить все усилия на реализацию важнейшей установки партии — рост эффективности народного хозяйства, его интенсификацию, повышение качества выпускаемой продукции.

Один из мощных рычагов повышения эффективности производства и качества выпускаемой продукции — кондиционирование воздуха. Искусственный микроклимат, получаемый с помощью установок кондиционирования воздуха, в значительной мере определяет эффективность производства и качество продукции в таких отраслях народного хозяйства, как производство химических волокон, точное машиностроение, приборостроение, легкая промышленность, индустриальное овощеводство на защищенных грунтах, хранение пищевых продуктов и др.

В частности, на предприятиях по производству химических волокон при увеличении колебаний влажности воздуха в прядильных цехах относительно значений, предусмотренных технологическим регламентом производства, отходы корда увеличиваются на 6,4%, шелка — на 5,2%, удельный вес шелка первого сорта уменьшается на 0,91% [10]. Киевским институтом технической теплофизики АН УССР было проведено исследование влияния параметров микроклимата на производительность труда шахтеров. Было установлено, что при повышении температуры воздуха в шахтах сверх допустимой (26°C) на 1°C производительность труда снижается на 4—5% [13]. Приведенный пример говорит о необходимости поддержания заданных параметров микроклимата в системах не только технологического, но и комфортного кондиционирования воздуха.

Значительную роль играет искусственный микроклимат в реализации Продовольственной программы, принятой майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС. Так, моделирование различных погодных условий в станциях искусственного климата (фитотронах) позволяет ускорить процессы селекции высокоурожайных, засухоустойчивых и морозостойких сельскохозяйственных культур, а индустриальное овощеводство на защищенных грунтах позволяет обеспечить круглогодичное снабжение свежими овощами населения страны. Немаловажную роль играет искусственный микроклимат при хранении продуктов сельского хозяйства.

* Материалы XXVI съезда КПСС, М., Политиздат, 1981, с. 139

Совершенствование систем кондиционирования воздуха (СКВ) идет по двум направлениям. С одной стороны, более детальное изучение процессов тепловлажностной обработки воздуха позволяет создавать новые технологические схемы СКВ, с другой — возросшие возможности средств и систем автоматики обуславливают создание новых методов и средств управления СКВ.

Отметим, что оба направления имеют тесную взаимосвязь: разработка новых схем тепловлажностной обработки воздуха обычно предъявляет новые требования к средствам регулирования СКВ, а создание новых средств открывает новые возможности тепловлажностной обработки воздуха. Так, разработка методов оптимальной тепловлажностной обработки воздуха стимулировала создание датчиков энтальпии воздуха, создание же высокоточных измерителей влажности воздуха позволило перейти к более широкому внедрению СКВ, режим тепловлажностной обработки воздуха в которых изменяется с учетом тепловлаговыделений объекта [4, 14].

Значительные размеры кондиционируемых помещений и высокие требования к точности поддержания параметров микроклимата обусловили большой объем необходимой измерительной информации и управляющих воздействий, поэтому для контроля и управления СКВ все большее применение находят электронно цифровые вычислительные машины ЭЦВМ [16]. Однако методика применения ЭЦВМ в СКВ пока недостаточно разработана и требует дальнейшего совершенствования.

Эффективность применения ЭЦВМ для контроля и управления искусственным микроклиматом в значительной мере определяется точностью работы первичных измерительных преобразователей (датчиков) параметров микроклимата и средств передачи их показаний на ЭЦВМ. Даже при применении локальных серийных измерительных и регулирующих приборов для автоматизации СКВ передача информации от датчиков к пультам управления с требуемой точностью становится все более затруднительной в связи с современной тенденцией централизации контроля и управления СКВ крупных промышленных, общественных и административных зданий с искусственным микроклиматом.

Настоящая работа посвящена описанию одного из наиболее точных и перспективных датчиков параметров микроклимата — подогревного хлористолитиевого преобразователя влажности и его применению как в локальных системах, так и в системах централизованного контроля и управления искусственным микроклиматом. Значительное внимание уделено организации сбора информации о состоянии микроклимата в системах централизованного контроля и управления на базе управляющих вычислительных машин УВМ.

Автор глубоко признателен канд. техн. наук А. М. Литвинову, под научным руководством которого в течение 1966—1975 гг. были выполнены исследования, изложенные в пп. 1.1, 1.2, 2.1, 3.1, 3.2. Автор приносит благодарность Ю. Д. Лукомскому, Т. А. Сатыр, Ф. А. Ланцбергу, А. Т. Сорокиной, А. П. Нагайченко, Т. Т. Кацубе, А. А. Лунину, Ю. А. Швецу, В. А. Нескубину, многолетнее творческое сотрудничество с которыми во многом предопределило содержание книги, а также канд. техн. наук В. М. Рубчинскому — рецензенту книги.

**ПОДОГРЕВНОЙ ХЛОРИСТОЛИТИЕВЫЙ
ПЕРВИЧНЫЙ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ВЛАЖНОСТИ (ПХЛПВ)**

Если измерение и регулирование температуры воздуха с точностью, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к системам кондиционирования воздуха, можно считать решенной проблемой [4], то методы и средства измерения влажности воздуха находятся в стадии непрерывного совершенствования — повышается точность измерения и улучшаются эксплуатационные характеристики разрабатываемых устройств.

К числу основных требований, предъявляемых к любому первичному измерительному преобразователю (ИП) можно отнести следующие: высокая точность измерений, стабильность градуировочной характеристики во времени, взаимозаменяемость, отсутствие гистерезиса, малая инерционность, линейность выходной характеристики и удобство обслуживания. Вышеперечисленным требованиям наиболее полно из существующих типов первичных измерительных преобразователей отвечают подогревные хлористолитиевые преобразователи влажности (ПХЛПВ), что обусловило их широкое применение в современных системах контроля и управления СКВ [1, 3, 10].

В одной из первых публикаций, посвященных анализу ПХЛПВ [25], процессы, проходящие на поверхности влагочувствительного слоя, объясняются зависимостью равновесного состояния трехфазной системы «твердая соль LiCl — ее насыщенный раствор — пары воды» от температуры, в которой находится система. Следовательно, изменение парциального давления водяных паров приводит к нарушению равновесного состояния рассматриваемой трехфазной системы, и для достижения нового равновесного состояния необходимо изменить ее температуру. При использовании в качестве влагопоглощающего материала соли LiCl равновесная температура трехфазной системы всегда выше температуры окружающей среды [25]. Для изменения температуры трехфазной системы поверхность влагочувствительного слоя нагрева-

ется до необходимой равновесной температуры с помощью нагревательной обмотки, конструктивно выполненной в виде двух электродов, намотанных на корпус влажочувствительного элемента и не имеющих между собой непосредственного электрического контакта. При подаче переменного напряжения на электроды ток проходит через влажочувствительный слой. Величина тока определяется сопротивлением раствора хлористого лития, находящегося между электродами.

Если давление водяных паров воздуха увеличилось, равновесие нарушается, наблюдается процесс поглощения влаги солью, что приводит к разбавлению насыщенного раствора. Сопротивление раствора падает, а ток, проходящий через раствор, увеличивается, вызывая тем самым повышение температуры раствора и испарение воды до восстановления насыщенного раствора. При этом вновь устанавливается равновесие трехфазной системы, но уже при более высокой температуре.

Таким образом, основным параметром, характеризующим величину парциального давления водяных паров, находящихся в воздухе, является равновесная температура на поверхности ПХЛПВ (θ_p).

В последующих публикациях по этому вопросу [1, 3] понятие равновесной трехфазной системы при различных ее температурах трансформировалось в понятие парциального давления водяных паров над поверхностью насыщенного раствора LiCl ($P_{\text{нLiCl}}$), зависящего от температуры этого раствора. Причем равновесная температура θ_p устанавливается с помощью нагревателя при достижении равенства $P_{\text{нLiCl}}$ и парциального давления водяных паров окружающего воздуха. Таким образом, ПХЛПВ — по существу датчик парциального давления водяных паров воздуха (P_n). Основной его характеристикой является зависимость $\theta_p = f(P_n)$.

Конструктивно ПХЛПВ выполняется обычно совместно с датчиком температуры, как показано на рис. 1, что позволяет использовать его как для измерения P_n , так и для измерения относительной влажности и энтальпии воздуха. Влажочувствительный элемент ПХЛПВ (ВЧЭ) выполнен следующим образом. На трубку, покрытую изоляционным лаком, надевается предварительно термообработанный чулочек из стекловолокна, поверх которого намотаны в виде спиралей два платиновых электрода. Чулочек пропитывается раствором LiCl , затем к платиновым электродам подводится переменное на-

пряжение питания. При этом происходит нагрев и сушка током соли LiCl до тех пор, пока не установится значение равновесной температуры. В качестве измерителей равновесной температуры обычно используются либо термодпары, либо термометры сопротивления, устанавливаемые внутри трубки. В качестве датчика температуры воздуха обычно используется аналогичный термочувствительный элемент для облегчения реализации измерительных схем относительной влажности и энтальпии воздуха. Отметим, что требования к точности измерения параметров микроклимата настолько высоки, что в большинстве случаев в качестве термочувствительных элементов используются термометры сопротивления (обычно платиновые), обладающие повышенными метрологическими характеристиками.

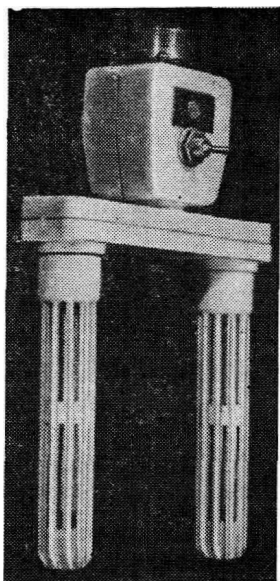


Рис. 1. Датчик влажности и температуры типа ДВ-1К

Несмотря на большое число публикаций в отечественной и зарубежной литературе, посвященных ПХЛПВ, следует отметить недостаточность освещения правил эксплуатации, градуировочных и динамических характеристик, способов повышения точности и долговечности работы, т. е. именно тех вопросов, которые интересуют специалистов по проектированию и эксплуатации средств и систем автоматизации установок искусственного микроклимата. Поэтому при рассмотрении ПХЛПВ как первичного измерительного преобразователя систем контроля и управления искусственным микроклиматом именно этим вопросам уделено основное внимание.

1. Градуировочные характеристики ПХЛПВ

ПХЛПВ, как уже отмечалось, является измерителем парциального давления водяных паров воздуха, поэтому основная его градуировочная характе-

ристика — это зависимость $P_{\pi}=f(\theta_p)$, позволяющая по измеренному значению равновесной температуры рассчитать значение измеряемого парциального давления водяных паров воздуха.

При построении основной градуировочной характеристики ПХЛПВ в качестве исходных использовались следующие данные [3]:

$\theta_p, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50	60	70
P_{π}	0,284	0,474	0,78	1,267	2,026	3,126

Зависимость $P_{\pi}=f(\theta_p)$ имеет ярко выраженный нелинейный характер, поэтому для ее описания обычно используются степенные функции. Полином $P_{\pi}=f(\theta_p)$ должен выбираться таким, чтобы в узлах аппроксимации погрешность была равна нулю. Математическая обработка данных зависимости методом разделенных разностей дала следующее выражение $P_{\pi}=f(\theta_p)$, кПа:

$$P_{\pi} = 0,3888 \cdot 10^{-7} \theta_p^4 + 0,6332 \cdot 10^{-5} \theta_p^3 - 0,2105 \cdot 10^{-3} \theta_p^2 + \\ + 0,1503 \cdot 10^{-1} \theta_p + 0,01066. \quad (1.1)$$

Выражение (1.1) хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными путем градуировки в камере «Фейтрон» ПХЛПВ типа ДВ-1К при государственных испытаниях этих датчиков. В табл. 1 приведены результаты расчета P_{π} по формуле (1.1) и значения, полученные из экспериментальных данных, свидетельствующие о хорошем совпадении экспериментально снятой и рассчитанной по формуле (1.1) градуировочной характеристике ПХЛПВ.

По полученным значениям P_{π} с помощью $I-d$ диаграммы влажного воздуха могут быть определены соответствующие значения температуры точки росы $\theta_{тр}$.

Т а б л и ц а 1

$\theta_p (^\circ\text{C})$	P_{π} (кПа)		$ \Delta P_{\pi} $ (кПа)
	расчет	эксперимент	
40	0,78	0,79	0,01
45	0,997	1,01	0,113
50	1,267	1,297	0,03
55	1,61	1,638	0,028
60	2,026	2,053	0,027
65	2,531	2,533	0,02
70	3,126	3,094	0,032

Таблица 2

$\theta_p (^{\circ}\text{C})$	$R_p (\text{Ом})$	$P_{\Pi} (\text{кПа})$	$\theta_{\text{тр}} (^{\circ}\text{C})$	$d (\text{г/кг})$
25	109,88	0,333	—8	2,05
30	111,85	0,47	—3,45	2,90
35	113,82	0,608	0,05	3,76
40	115,78	0,79	3,6	4,9
45	117,74	1,01	7,15	6,27
50	119,7	1,297	10,85	8,08
55	121,65	1,638	14,4	10,24
60	123,6	2,053	17,9	12,89
65	125,55	2,533	21,35	15,98
70	127,49	3,097	24,6	19,65
75	129,43	3,719	27,75	23,74
80	131,37	4,3	30,65	27,62

В табл. 2 приведены основные градуировочные характеристики $P_{\Pi}=f(\theta_p)$, $\theta_{\text{тр}}=f(\theta_p)$, имеющие большое практическое значение при градуировке серийных вторичных измерительных и показывающих приборов для измерения температуры, используемых в качестве измерителей парциального давления и температуры точки росы.

В табл. 2 приведены также значения сопротивления платинового термометра гр. 22, используемого в качестве термочувствительного элемента ПХЛПВ, что при необходимости позволяет построить также зависимость $\theta_{\text{тр}}=f(R_p)$.

В практике кондиционирования часто используется влагосодержание воздуха как параметр, характеризующий состояние микроклимата. Обычно влагосодержание d , г/кг, определяется по значению P_{Π}

$$d = 623 \frac{P_{\Pi}}{P_{\text{в}} - P_{\Pi}}, \quad (1.2)$$

где $P_{\text{в}}$ — давление воздуха.

В табл. 2 представлена зависимость $d=f(\theta_p)$ при нормальном атмосферном давлении воздуха $P_{\text{в}}=101,3$ кПа. Погрешность градуировочных характеристик, приведенных в табл. 2, не превышает $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ по температуре точки росы.

Отметим, что приведенные в табл. 2 градуировочные характеристики получены для ПХЛПВ типа ДВ-1К. Од-

нако сравнительная оценка данных с градуировочными характеристиками ПХЛПВ типа ДВТ-1 [3] и ПХЛПВ производства фирмы «Honeywell» (США) показала, что разброс градуировочных характеристик $\theta_{тр} = f(\theta_p)$ для ПХЛПВ указанных типов не превышает $0,15^\circ\text{C}$ по температуре точки росы, а это позволяет рекомендовать данные табл. 2 в качестве основных градуировочных характеристик ПХЛПВ любой конструкции.

Как уже отмечалось ранее, ПХЛПВ в комплекте с датчиком температуры может использоваться для измерения и других параметров влажного воздуха, в частности относительной влажности и энтальпии воздуха. Очевидно, что в этом случае градуировочные характеристики ПХЛПВ как измерителя этих параметров должны учитывать также значения температуры воздуха. Рассмотрим подробнее вопросы построения градуировочных характеристик ПХЛПВ как измерителя относительной влажности и энтальпии воздуха.

Обычно относительная влажность воздуха φ определяется по формуле

$$\varphi = \frac{P_n}{P_n} 100 \%, \quad (1.3)$$

где P_n — давление насыщения водяного пара, зависящее от температуры воздуха, кПа.

Эта зависимость может быть представлена в виде [3].

$$P_n = 0,133 \exp(b_4 \theta_B^4 + b_3 \theta_B^3 + b_2 \theta_B^2 + b_1 \theta_B + b_0), \quad (1.4)$$

где θ_B — температура воздуха; $b_4 = -0,00449 \cdot 10^{-4}$; $b_3 = -0,00470669 \times 10^{-3}$; $b_2 = -0,04014589 \cdot 10^{-2}$; $b_1 = 0,073730836$; $b_0 = 1,52061$.

С учетом того, что $P_n = f(\theta_p)$ [см. формулу (1.1)], относительная влажность φ может быть представлена в виде

$$\varphi = f(\theta_B; \theta_p) = \frac{\sum_{i=0}^4 a_i \theta_p^i}{0,133 \exp\left(\sum_{i=0}^4 b_i \theta_B^i\right)}, \quad (1.5)$$

тогда она определяется как измеренным значением θ_p , так и измеренным значением θ_B . Это, в частности, объясняет также совместное конструктивное выполнение датчиков влажности и температуры с целью измерения θ_p и θ_B в одной точке помещения.

Для энтальпии воздуха I , кДж/кг, обычно определяемой с помощью формулы [17]

Таблица 3

θ_B (°C)	θ_p (°C)	Φ (%)	I (кДж/кг)
15	38	41,4	26,13
15	39	43,5	26,67
15	40	45,7	27,26
15	41	48,0	27,88
15	42	50,4	28,55
15	43	53,0	29,22
15	44	55,6	29,93
15	45	58,4	30,69
15	46	61,3	31,48
15	47	64,4	32,32
15	48	67,6	33,16
15	49	70,9	34,08
15	50	74,4	35,04
15	51	78,1	36,05
20	44	40,6	35,04
20	45	42,6	35,8
20	46	44,7	36,59
20	47	47,0	37,43
20	48	49,3	38,27
20	49	51,7	39,19
20	50	54,4	40,15
20	51	56,9	41,11
20	52	59,7	42,16
20	53	62,6	43,25
20	54	65,7	44,38
20	55	68,8	45,59
20	56	72,1	46,81
20	57	75,5	48,11
20	58	79,1	49,45
25	50	40,1	45,22
25	51	42,0	46,22
25	52	44,1	47,27
25	53	46,2	48,57
25	54	48,4	49,49
25	55	50,8	50,7
25	56	53,2	51,96
25	57	55,7	53,21
25	58	58,3	54,59
25	59	61,1	55,98
25	60	63,9	57,44
25	61	66,9	58,99
25	62	69,9	60,54
25	63	73,1	62,21
25	64	76,4	63,93
25	65	79,8	65,69
30	56	39,7	57,07
30	57	41,6	58,36
30	58	43,5	59,7
30	59	45,6	61,13

$\theta_{\text{в}} (^{\circ}\text{C})$	$\theta_{\text{р}} (^{\circ}\text{C})$	$\Psi (\%)$	$I (\text{кДж/кг})$
30	60	47,7	62,59
30	61	49,9	64,19
30	62	52,2	65,69
30	63	54,5	67,36
30	64	57	69,08
30	65	59,6	70,88
30	66	62,2	72,72
30	67	65	74,69
30	68	67,8	76,7
30	69	70,8	78,79
30	70	73,8	80,93
30	71	77	83,19

$$I = [0,24 \theta_{\text{в}} + (597,3 + 0,45 \theta_{\text{в}}) d] 4,1868, \quad (1.6)$$

при подстановке влагосодержания d , выраженного через $\theta_{\text{р}}$, согласно формуле (1.2), с учетом (1.1) получаем уравнение, связывающее энтальпию воздуха со значениями $\theta_{\text{в}}$ и $\theta_{\text{р}}$

$$I = \left[0,24 \theta_{\text{в}} + (597,3 + 0,45 \theta_{\text{в}}) \frac{1}{P_{\text{в}}} \sum_{i=0}^4 a_i \theta_{\text{р}}^i \right] 4,1868. \quad (1.7)$$

В табл. 3 приведены градуировочные характеристики ПХЛПВ как измерителя относительной влажности и энтальпии воздуха с учетом температуры воздуха, рассчитанные по формулам (1.5) и (1.7) с дискретностью 5°C по температуре воздуха и 1°C по равновесной температуре ПХЛПВ в диапазоне изменений температуры от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха от 40 до 80%, наиболее характерных для кондиционируемых помещений. Все промежуточные значения легко определяются методом линейной интерполяции.

Градуировочные характеристики, приведенные в табл. 3, рассчитаны для нормального атмосферного давления $P_{\text{в}} = 101,3 \text{ кПа}$. Погрешность характеристик табл. 3, по результатам экспериментальных данных государственных испытаний, ПХЛПВ не превышает $\pm 1,5\%$ относительной влажности и $\pm 1 \text{ кДж/кг}$ энтальпии воздуха.

2. Методы улучшения эксплуатационных характеристик ПХЛПВ

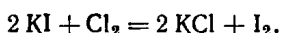
Весьма важными эксплуатационными характеристиками ПХЛПВ являются продолжительность работы ПХЛПВ без перепропитки (регенерации) влагочувствительного слоя, период вхождения его показаний после регенерации в значения, определяемые градуировочной характеристикой, а также сохранение работоспособности ПХЛПВ после длительного отключения напряжения питания нагревательной обмотки. Не менее важен показатель взаимозаменяемости ПХЛПВ, характеризующий разброс индивидуальных градуировочных характеристик отдельных ПХЛПВ относительно основной градуировочной характеристики, установленной для ПХЛПВ данного типа.

В значительной мере эти характеристики определяются процессами, происходящими в растворе хлористого лития, наносимого на ВЧЭ и подвергающегося в процессе эксплуатации непрерывному разложению проходящим током. Наиболее серьезные исследования этих процессов были проведены А. М. Литвиновым и Т. А. Сатыр [8]. На основании этих исследований получен ряд практических рекомендаций, существенно улучшающих эксплуатационные характеристики ПХЛПВ.

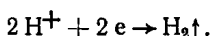
Один из основных недостатков ПХЛПВ — эффект старения, т. е. смещение во времени его градуировочной характеристики $P_{\pi} = f(\theta_p)$. Это обуславливается уменьшением количества хлористого лития на стеклочулке при его электролитическом разложении проходящим током. Следствием этого эффекта является необходимость периодической (1 раз в три месяца) регенерации влагочувствительного элемента (ВЧЭ), заключающейся в промывке ВЧЭ, последующей сушке, нанесении нового раствора LiCl и повторной его сушке. Процесс регенерации ВЧЭ сравнительно несложен и занимает не более 20—30 мин [8]. Однако при большом количестве обслуживаемых ПХЛПВ процесс их регенерации занимает значительное время. Отметим, что имеются объекты, в которые в течение длительного времени обслуживающий персонал не допускается. Поэтому задача повышения срока службы ПХЛПВ без регенерации влагочувствительного слоя весьма актуальна.

Проанализируем физико-химические процессы, происходящие при работе ПХЛПВ [8]. При электролизе в водном растворе LiCl находятся ионы Cl^- и OH^- , а так-

же ионы Li^+ и H^+ . В течение одного полупериода (когда питающее нагревательную обмотку напряжение имеет плюс на одном из электродов) происходит разряд ионов хлора $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2\uparrow$ и выделяется свободный хлор. Его легко определить, поднеся к ПХЛПВ полоску бумаги, пропитанную крахмальным раствором йодистого калия KI . При этом наблюдается характерное темно-синее окрашивание бумаги, свидетельствующее о вытеснении йода

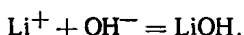


В течение другого полупериода (когда на том же электроде питающее напряжение меняет знак на противоположный) происходит разряд ионов водорода за счет выделившихся в предыдущий полупериод свободных электронов

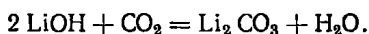


Разряд ионов Li^+ практически невозможен в растворе, так как он может быть выделен лишь при температуре плавления LiCl [8].

Из-за высокой активности ионов Li^+ происходит их взаимодействие с ионами OH^-



Образовавшаяся щелочь LiOH взаимодействует с углекислым газом воздуха, в результате чего происходит реакция



Получаемый в результате реакции карбонат лития является малогигроскопичным веществом и накапливается в процессе работы на поверхности ВЧЭ, вызывая смещение градуировочной характеристики ПХЛПВ.

Для экспериментального подтверждения механизма старения влагочувствительного слоя ПХЛПВ А. М. Литвиновым, Т. А. Сатыр и А. Н. Житомирским был проведен ряд регенераций ВЧЭ, поскольку в процессе сушки ВЧЭ большим проходящим током наблюдается наиболее интенсивный электролиз водного раствора LiCl . Результаты химического анализа смывных вод показали устойчивое присутствие Li_2CO_3 и уменьшение количества LiCl после электролиза [8], что доказывает справедливость рассмотренного механизма старения влагочувствительного слоя ПХЛПВ. На основании сказанного можно

сделать ряд практических выводов, позволяющих существенно улучшить эксплуатационные характеристики ПХЛПВ.

Основная причина старения ПХЛПВ — электролиз LiCl под действием проходящего тока. Следовательно, процесс старения преобразователя можно замедлить, если уменьшить ток

через электролит, что достигается применением дополнительного внешнего источника тепла, подогревающего ВЧЭ. В частности, таким источником тепла может быть резистивная нагревательная обмотка РНО, включаемая по схеме, представленной на рис. 2. Резистор R_6 служит для ограничения тока через платиновые электроды $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$ и раствор соли LiCl при сушке ВЧЭ после перепропитки. Обычно величина этого сопротивления выбирается таким образом, чтобы ток сушки, проходящий между электродами $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$ не превышал 1 А при напряжении питания 24 В, что обеспечивается подключением ПХЛПВ к сети переменного напряжения 220 В через трансформатор Тр. Переменный резистор R_d служит для изменения степени нагрева ВЧЭ током через РНО.

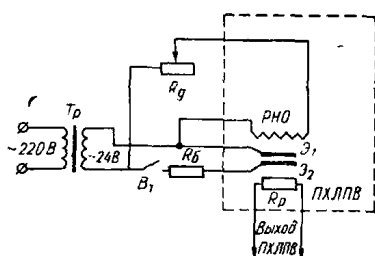


Рис. 2. Схема включения ПХЛПВ с резистивной нагревательной обмоткой

Практически ток через РНО необходимо выбирать таким, чтобы при отключении нагревательной обмотки ВЧЭ и его нагреве лишь с помощью РНО температура на поверхности ВЧЭ была близка, но не более минимально возможного при данных условиях эксплуатации значения θ_p [11]. Значение θ_p измеряется в схеме рис. 2 термометром сопротивления R_p . С помощью тумблера B_1 можно при сушке ВЧЭ производить отключение его нагревательной обмотки и процесс сушки осуществлять с помощью лишь РНО. Это предотвращает разложение LiCl при сушке и способствует увеличению срока работы ВЧЭ без перепропитки. Кроме того, как показано Ю. Д. Лукомским [11], сушка ВЧЭ током, проходящим через электролит, существенно ухудшает метрологические характеристики ПХЛПВ в начальный период эксплуатации после регенерации влагочувствительного слоя. Это объясняется тем, что хлористый литий в водном растворе (в зависимости от его температуры) может пребывать в

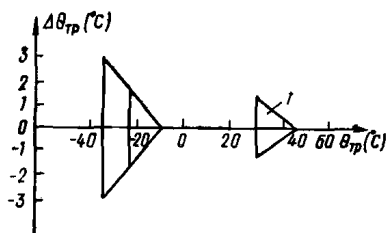


Рис. 3. Погрешности определения температуры точки росы в зонах фазовых переходов ПХЛПВ

различных гидратных состояниях: ангидридном, моно-, ди-, тригидратном. Каждому из этих состояний соответствует своя определенная зависимость $P_{\text{д}} = f(\theta_p)$. Исследованиями установлено, что фазовое состояние насыщенного раствора LiCl изменяется не при фиксированных значениях

температуры, а в некоторых областях температур, когда два соседних гидратных состояния присутствуют в растворе, что обуславливает появление погрешностей ПХЛПВ в этих зонах. Погрешности определения температуры точки росы с помощью ПХЛПВ в зонах фазовых переходов показаны на рис. 3. Сушка влагопоглощающего слоя общепринятым способом, т. е. током, проходящим через электролит, происходит при температуре, равной температуре кипения раствора. При использовании, например, водных растворов LiCl для пропитки ВЧЭ эта температура равна $\approx 110^\circ\text{C}$, что обуславливает появление погрешности после сушки за счет прохождения ВЧЭ области 1 (см. рис. 3), нижней температурной границей которой является $\theta_{\text{тр}} \approx 38^\circ\text{C}$ ($\theta_p \approx 93^\circ\text{C}$).

Рис. 3 показывает существенное влияние процесса сушки электролитическим током на точность работы ПХЛПВ в начальный период после перепропитки. Применение резистивных нагревательных обмоток позволяет процесс сушки влагочувствительного слоя осуществлять не электролитическим током, а током, идущим через РНО. Этот процесс регулируемый и позволяет задавать температуру сушки не выше 80°C , что устраняет возникновение погрешности ПХЛПВ в связи с формированием нового влагочувствительного слоя.

После завершения процесса сушки ток в РНО должен быть уменьшен до минимально возможного значения, соответствующего наименьшему значению θ_p при данных условиях эксплуатации, что существенно увеличивает срок службы ПХЛПВ без перепропитки.

Однако применение резистивной нагревательной обмотки намного усложняет конструкцию измерителя влажности воздуха. Очевидно, применение подобных ПХЛПВ оправдано лишь в тех случаях, когда необхо-