

а 66232

В. П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ
С. М. ЖОЛКОВСКИЙ

СОЛЕМЕРЫ

ГОНТИ 1939

~~266232~~

В. П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ и С. М. ЖОЛКОВСКИЙ

ДЕП

СОЛЕМЕРЫ

Мир 1958 г. 66242
ИЗД. 1953 г.

1303003

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1938 ЛЕНИНГРАД

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
10	Таблица 1 столбец 22	$\frac{1}{2} CO$	$\frac{1}{2} CO_2$	Тип.
25	16 сверху	$= R_{x, \eta_1}$	$= R_{x, \eta_{11}, t_2}$	Тип.
35	Фиг. 21	электродом	электродам	Авт.
37	Фиг. 24	трансформатора	трансформатора,	Ред.

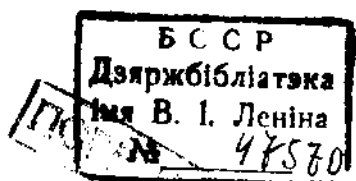
Преображенский и Жолковский — Солемеры

84-732
ЭТ-20-5-3

Пр. ТКК № 52 от 4/XII 1938 г.

Редактор инж. С. М. Лосев

Техредактор А. Д. Чаров



Сдано в производство 24/X 1938 г.
Формат бумаги $84 \times 108 \frac{1}{32}$
Учетно-автор. листов 3,58
Энергоредакция № 195
Учетн. № 7584

Подписано к печати 27/XII 1938 г.
Печатных листов 4
Тираж 3 000
Уполн. Главлита № Б-54290
Заказ № 2098

1-я Журнальная типография ГОНТИ, Москва, Денисовский пер., 30.

1. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в непрерывном контроле качества пара и питательной воды на электростанциях поставила перед научно-исследовательскими и приборостроительными организациями задачу разработать и освоить выпуск специальных приборов, с помощью которых можно осуществить автоматическое и наглядное измерение содержания солей в паре и питательной воде.

Не менее важным является и контроль присоса сырой воды через теплопроводящие поверхности разного рода поверхностных подогревателей, охладителей и испарительных установок. Контроль этот ведется по наблюдению за изменением содержания солей в теплоносителе и за теплопроводящими поверхностями.

Такое же значение в настоящее время приобретает непрерывный автоматический контроль концентрации солей в ряде других производств (в химической, бумажной, пищевой и других отраслях промышленности), а также в бытовом и промышленном водоснабжении.

Особое значение в настоящее время придается непрерывному контролю качества насыщенного пара современных мощных котлов, так как известно, что насыщенный пар выходит из барабана или сухопарника котла с более или менее значительным содержанием влаги. Влага состоит из мельчайших капелек воды, взвешенных в паре. Необходимо отметить, что концентрация солей в этих капельках обычно выше, чем среднее солесодержание котловой воды.

Часть солей, содержащихся во влаге, попадает вместе с паром в пароперегреватели, арматуру и в турбины, отлагается на рабочих поверхностях и вызывает перегорание трубок перегревателей, заедание клапанов, потерю мощности и понижения экономичности турбин и т. п.

Из вышесказанного становится ясным, насколько важно вести постоянный эксплуатационный контроль качества

насыщенного пара для своевременного принятия соответствующих мер, устраняющих повышение влажности, а вместе с тем и солесодержания пара.

Наиболее приспособленными для эксплуатационного контроля солесодержания пара и питательной воды и получившими большое распространение являются солемеры — приборы, основанные на методе измерения электропроводности.

Обычно солемером можно определить концентрацию раствора, в котором содержится только одного рода соль. Однако на основании изложенных ниже положений имеется возможность приближенно, но с достаточной точностью определять солемерами общую концентрацию многокомпонентных растворов, если все составляющие их части меняются приблизительно в одинаковом отношении или когда концентрация одной составляющей части (соли) на много превосходит другие, так что практически эта соль определяет электропроводность раствора.

Также с достаточной точностью можно вести измерение концентрации сильно разбавленных растворов, в которых почти все молекулы находятся в диссоциированном состоянии.

На практике к таким растворам можно отнести конденсат пара и питательную воду.

Решение последней конференции Главэнерго (1938) по пароперегревателям и сепарации пара устанавливает необходимость оборудования всех вновь монтируемых, а также крупных котельных агрегатов, имеющих на электростанциях, устройствами по контролю качества пара. Контроль солесодержания комбинируется с измерением влажности пара (дрессельными калориметрами), чем и обеспечивается безошибочная оценка качества пара.

Измерение солесодержания должно сопровождаться непрерывной регистрацией показаний, так как это дает возможность судить об отдельных кратковременных резких ухудшениях качества пара, выражающихся в так называемых плевках.

В СССР в настоящее время изготавливаются две конструкции солемеров: 1) ЦКТИ, разработанная под руководством А. А. Мостофина и 2) ЦЛЭММ системы ПШ, разработанная под руководством В. П. Преображенского. ЦКТИ освоил массовый выпуск солемеров своей конструкции, а ЦЛЭММ производит выпуск единичных экземпляров.

Оба эти прибора, различающиеся как по измерительным системам, так и по принципу температурной компенсации,

обладают удовлетворительной точностью для производственного измерения солевого содержания конденсата пара.

В настоящей книге авторы приводят основные принципы измерения электропроводности растворов, методы осуществления температурной компенсации, описание ряда зарубежных и советских промышленных типов солемеров, а также данные по установке и эксплуатации этих приборов.

Не претендуя на полноту освещения затронутой темы, авторы тем не менее надеются, что их труд принесет определенную помощь лицам, интересующимся вопросами электрометрического контроля качества пара, конденсата и других растворов.

2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ

Контроль солевого содержания или определение сухого остатка в конденсате пара и питательной воде осуществляется преимущественно приборами, основанными на методе измерения электропроводности.

Под электропроводностью понимается величина, обратная сопротивлению R , которое оказывают разного рода проводники прохождению электрического тока.

Следовательно, $\frac{1}{R}$ является мерой проводящей способности раствора.

За единицу сопротивления принимается Ω , т. е. сопротивление проводника, через который протекает ток силой в 1 А при разности потенциалов на его концах в 1 В. Для практических измерений принят международный ом. Международный ом — сопротивление, которое оказывает столб ртути длиной 106,3 см и сечением 1 мм² при 0° постоянному электрическому току. Миллионная доля ома называется микроомом и обозначается $\mu\Omega$.

Ранее за единицу сопротивления принимали единицу Сименса, соответствующую сопротивлению ртутного столбика длиной 100 см с поперечным сечением 1 мм² при 0°. Следовательно, старая единица относится к новой как 1:1,063. В СССР за единицу сопротивления принят международный ом.

В соответствии с вышеуказанным обычно электропроводность выражается в обратных омах (Ω^{-1}). Сопротивление любого проводника меняется прямо пропорционально его длине l см и обратно пропорционально площади попе-

речного сечения $S \text{ см}^2$. Это можно выразить формулой:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где ρ — постоянная величина для данного проводника, называемая удельным сопротивлением. Если проводник имеет форму куба с ребрами в 1 см , т. е. $l = 1$ и $S = 1$, то $R = \rho$. Следовательно, ρ можно определить как сопротивление проводника в 1 см^2 сечения и 1 см длины, выраженное в Ω .

Соответственно этому удельная электропроводность проводника равняется $\frac{1}{\rho}$ обратных омов и обозначается символом κ .

Таким образом вместо уравнения (1) можно написать:

$$R = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{l}{S}, \quad (2)$$

откуда удельная электропроводность

$$\kappa = \frac{l}{R \cdot S}. \quad (3)$$

Физический смысл удельной электропроводности можно представить на следующем примере: если разность потенциалов равняется 1 В , т. е. $E = 1$, то по закону Ома:

$$I = \frac{1}{R} = \kappa \frac{S}{l}. \quad (3a)$$

Следовательно, когда разность потенциалов в 1 В приложена к проводнику в 1 см^2 сечения и 1 см длины, то сила тока, протекающего через проводник, выраженная в A , будет равна по величине удельной электропроводности. Однако на основании изучения удельной электропроводности мы не имеем возможности производить сравнение величины электропроводности растворов между собой в зависимости от их концентрации. Это становится возможным при введении понятия эквивалентной электропроводности. Кольрауш эквивалентной электропроводностью назвал величину

$$\Lambda = \frac{\kappa}{\eta}, \quad (4)$$

где η — эквивалентная концентрация раствора, т. е. концентрация, измеренная в грамм-эквивалентах растворенного вещества в 1 см^3 раствора. Обратная величина $\varphi = \frac{1}{\eta}$ есть мера разбавленности раствора, она численно равна

объему (в см^3) раствора, содержащего 1 грамм-эквивалент растворенного вещества.

Концентрация также может быть определена числом η' грамм-эквивалентов вещества, растворенного в 1 л раствора, η' также называется эквивалентной концентрацией. Обратная величина $\psi' = \frac{1}{\eta'}$ есть объем (в л) раствора, содержащего 1 грамм-эквивалент растворенного вещества.

Между числами η и η' , а также между ψ и ψ' имеют место следующие равенства:

$$\begin{aligned}\eta' &= 1000\eta \\ \psi' &= 0,001\psi\end{aligned}$$

Известно, что электрические заряды в растворах переносятся ионами, которые движутся под влиянием силы, действующей на ион в данной точке электрического поля. Эту силу можно выразить уравнением

$$f = E \cdot y \cdot e, \quad (5)$$

где f — сила, действующая на ион; E — напряжение электрического поля в точке, где находится данный ион валентности y ; e — электрический заряд. Если падение потенциала в растворе равномерное, то градиент напряжения электрического поля в какой-либо точке его при условии равномерного изменения напряжения будет равен отношению разности потенциалов V между электродами к расстоянию l между ними

$$E = \frac{V}{l}. \quad (6)$$

Подставляя это значение в уравнение (5), получим

$$f = \frac{V}{l} \cdot y \cdot e. \quad (7)$$

Под влиянием этой силы ионы начинают двигаться, встречая на своем пути сопротивление среды, пропорциональное скорости их движения w .

Обозначая через k — коэффициент пропорциональности, можно силу сопротивления среды выразить через $k w$. Скорость в начале движения равна нулю, следовательно в этом случае существует только сила поля; одновременно с увеличением скорости увеличивается и тормозящая движение сила $k w$. Обозначая через m — массу иона, а через

t — время, получим следующее дифференциальное уравнение движения иона:

$$m \frac{dw}{dt} = f - kw. \quad (8)$$

Интегрируя уравнение (8), получим:

$$-\frac{m}{k} \ln(f - kw) = t + \text{const.}$$

В начальный момент скорость $w = 0$, так же и $t = 0$, следовательно,

$$\text{const} = -\frac{m}{k} \ln f,$$

подставляя значение const в предыдущее уравнение, получим

$$f - kw = f e^{-\frac{kt}{m}},$$

откуда

$$w = \frac{f}{k} \left(1 - e^{-\frac{kt}{m}} \right). \quad (9)$$

Скорость w в начале движения возрастает согласно уравнению (9) и по мере увеличения t стремится к пределу

$\frac{f}{k}$, так как $e^{-\frac{kt}{m}}$ стремится к нулю. Следовательно, ионы под действием электрического поля начинают ускоренно двигаться; ускорение быстро уменьшается, стремясь к нулю, и сила поля уравнивается силой трения; при этом скорость движения ионов достигает наибольшей величины, и движение переходит в равномерное со скоростью

$$w = \frac{f}{k}. \quad (10)$$

На основании уравнения (7) получим

$$w = \frac{V \cdot y \cdot e}{lk}. \quad (11)$$

Величина w может быть определена опытным путем, следовательно можно получить и числовое значение K . Далее, пользуясь уравнением (9), мы можем определить возрастание w со временем. Если произведем подобный расчет, то окажется, что постоянная скорость движения устанавливается настолько быстро, что осуществить наблюдение периода ускоренного движения ионов в растворах

невозможно. Следовательно, практически во всех случаях приходится пользоваться уравнением (10).

Если обозначим через u то значение w , когда отношение $\frac{V}{I}$ равно единице, тогда из уравнения (11) имеем:

$$u = \frac{ye}{k}. \quad (12)$$

Эта скорость u , с которой ион движется в поле с падением потенциала, равным 1 В/см , носит название абсолютной скорости иона. Подставляя значение u в уравнение (11), получим:

$$w = u \frac{V}{I}, \quad (13)$$

т. е. соотношение между скоростями u и w . Далее представим 1 см^3 раствора и пусть в нем находится n положительных и столько же отрицательных ионов.

Если скорость положительных ионов w_k , а отрицательных w_a , то в 1 сек. через 1 см^2 протекает $n(w_k + w_a)$ ионов. Обозначая через e заряд каждого иона, получим, что ежесекундный перенос количества электричества будет равен $en(w_k + w_a)$. Если сечение имеет величину $s \text{ см}^2$, то перенос количества электричества будет соответственно равен:

$$I = en s (w_k + w_a). \quad (14)$$

Из предыдущего известно, что η есть эквивалентная концентрация, т. е. число грамм-эквивалентов ионов, находящихся в 1 см^3 раствора. Согласно закону Фарадея заряд 1 грамм-эквивалента иона есть F ($F = 96\,500$ кулонов), следовательно

$$en = \eta F;$$

подставляя это значение в уравнение (14), получим

$$I = \eta F (w_k + w_a). \quad (15)$$

Согласно уравнению (13) уравнение (15) примет вид

$$I = F (u_k + u_a) \eta s \frac{V}{I}. \quad (16)$$

Сопоставляя это уравнение с уравнением $I = \frac{V}{R}$, выражающим закон Ома, получим

$$R = \frac{l}{F (u_k + u_a) \eta s}.$$

Если же проводник имеет форму куба с ребрами в 1 см ,

ПОТРАЩЕНО

ТАБЛИЦА 1

ПОДВИЖНОСТЬ ИОНОВ ДЛЯ РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПРИ 18° (ПО КОЛЬРАУШУ)

1000η	κ	κ _N	κ _Z	κ _{Cl}	κ _{SO₄}	κ _{NO₃}	κ _{ON}	κ _{IO₃}	κ _{ClO₄}	κ _{SCN}	κ _{OS} $\frac{\kappa}{\kappa_1}$	κ _{OS} $\frac{\kappa}{\kappa_1}$	но
0	64,6	43,5	33,4	68	55	55	55	55	55	55	68,3	68,3	174
0,0001	64,1	43,2	33,3	67	54	54	54	54	54	54	66,6	66,6	172
0,0002	64,0	43,0	33,0	67	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	66,0	66,0	172
0,0005	63,7	42,8	32,8	66,6	53,1	53,1	53,1	53,1	53,1	53,1	65	65	171
0,001	63,3	42,4	32,4	66,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	63,8	63,8	171
0,002	62,8	42,0	32,0	66,6	52,1	52,1	52,1	52,1	52,1	52,1	60	60	170
0,005	61,8	41,3	31,5	66,6	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	51,3	58,7	58,7	168
0,01	60,7	40,5	30,8	66,6	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	55,5	55,5	167
0,02	59,5	39,5	30,0	66,6	49	49	49	49	49	49	51,5	51,5	165
0,05	57,2	37,9	28,8	66,6	46	46	46	46	46	46	45	45	161
0,1	55,1	36,4	27,5	66,6	44	44	44	44	44	44	40	40	157

т. е. $l=1$ и $s=1$, то для удельной электропроводности мы получим уравнение следующего вида:

$$\kappa = \frac{1}{R} = F\eta(u_k + u_a). \quad (18)$$

Пусть α_g есть степень диссоциации, т. е. та доля грамм-эквивалента, которая диссоциирована на ионы. Следовательно, в общем случае, когда не все молекулы распались на ионы, для удельной электропроводности получим следующее уравнение:

$$\kappa = F\eta\alpha_g(u_k + u_a). \quad (19)$$

Величины Fu_k и Fu_a Кольрауш назвал подвижностями ионов. По подвижность ионов, как видно из табл. 1, есть величина, характерная для каждого иона, и в методе измерения электропроводности растворов играет весьма важную роль. Обозначая подвижность ионов соответственно через l_k и l_a , имеем

$$l_k = Fu_k \text{ и } l_a = Fu_a. \quad (20)$$

Пользуясь этими уравнениями, мы можем определить абсолютные скорости ионов, т. е. u_k и u_a . Далее уравнение (19) на основании (20) примет вид.

$$\kappa = \alpha_g \eta (l_k + l_a). \quad (19a)$$

Нам известно из уравнения (4), что $\frac{\kappa}{\eta}$ — эквива-

лентная электропроводность, отнесенная к содержанию электролита в 1 грамм-эквивалент в 1 см^3 , таким образом получаем

$$\frac{\kappa}{\eta} = \Lambda = \alpha_g (l_k + l_a). \quad (21)$$

По мере увеличения разведения раствора степень диссоциации, как и эквивалентная электропроводность, увеличивается. Обе эти величины, увеличиваясь, стремятся к определенному пределу, наступающему при бесконечном разбавлении. Следовательно, при бесконечном разведении раствора для эквивалентной электропроводности получим уравнение, выражающее закон Кольрауша в следующем виде:

$$\Lambda_{\infty} = l_k + l_a. \quad (22)$$

т. е. сумма подвижностей обоих ионов равна эквивалентной электропроводности.

Определим величину степени диссоциации. Нам известно, что $\Lambda_{\eta} = \frac{\kappa}{\eta}$; если обе части этого равенства разделим на α_g , то при α_g , стремящемся в пределе к единице, т. е. когда все молекулы раствора находятся в диссоциированном состоянии, мы получим значение эквивалентной электропроводности при бесконечном разведении:

$$\frac{\kappa}{\eta \alpha_g} = \frac{\Lambda_{\eta}}{\alpha_g} = \Lambda_{\infty}.$$

откуда

$$\alpha_g = \frac{\Lambda_{\eta}}{\Lambda_{\infty}}. \quad (23)$$

Для получения в общем случае значения α_g нужно в уравнение (23) ввести поправочный коэффициент, так называемый коэффициент электропроводности, учитывающий изменение подвижностей ионов с концентрацией.

С увеличением разбавления величина коэффициента электропроводности стремится к единице, это имеет место для слабых растворов, т. е. в нашем случае для конденсата пара и питательной воды.

Для определения эквивалентной электропроводности слабых растворов можно пользоваться следующей эмпирической формулой

$$\Lambda_{\eta} = \Lambda_{\infty} - \alpha \eta^{\frac{1}{3}}, \quad (24)$$

где α — константа (например для KCl и NaCl она равняется около 400) и η — эквивалентная концентрация.

Приводим в табл. 2 (по Кольраушу) числовые значения эквивалентной электропроводности некоторых водных растворов солей, кислот и щелочей при разных концентрациях.

ТАБЛИЦА 2
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПРИ 18°
(ПО КОЛЬРАУШУ)

1000 η	KCl	NaCl	KNO ₃	AgNO ₃	1/2 CuSO ₄	1/2 H ₂ SO ₄	HCl	CH ₃ COOH	KOH	NH ₃
0,0001	129,1	108,1	125,5	115,0	110,0	—	—	107,0	—	66,0
0,0002	128,8	107,8	125,2	114,6	107,6	—	—	80,0	—	53,0
0,0005	128,1	107,2	124,4	113,9	103,5	—	—	57,0	—	38,0
0,001	127,3	106,5	123,6	113,2	98,5	361,0	377,0	40,0	234,0	28,0
0,002	126,3	105,6	122,6	112,1	91,9	351,0	376,0	30,2	233,0	20,6
0,005	124,4	103,8	120,5	110,0	81,0	330,0	373,0	20,0	230,0	13,2
0,01	122,4	102,0	118,2	107,8	71,7	308,0	370,0	14,3	228,0	9,6
0,02	120,0	99,6	115,2	—	62,4	286,0	367,0	10,4	225,0	7,1
0,05	115,8	95,7	109,9	99,5	51,2	253,0	360,0	6,48	219,0	4,6
0,1	112,0	92,0	104,8	94,3	43,9	225,0	351,0	4,60	213,0	3,3
0,2	108,0	87,7	98,7	88,1	37,7	214,0	342,0	3,24	206,0	2,30
0,5	102,4	80,9	89,2	77,8	—	205,0	327,0	2,01	197,0	1,35
1,0	98,3	74,3	80,5	67,8	—	198,0	301,0	1,32	184,0	0,89
2,0	92,6	64,8	89,4	55,8	—	183,0	254,0	0,80	160,8	0,532
3,0	88,3	56,5	—	48,1	—	166,8	215,0	0,54	140,6	0,364
5,0	—	42,7	—	37,8	—	135,0	152,2	0,285	105,8	0,202

Выше было установлено, что эквивалентная электропроводность зависит от концентрации и подвижности соответствующих ионов. Кроме того, электропроводность в большой степени зависит от температуры раствора. Зависимость электропроводности слабых водных растворов от температуры при эквивалентных концентрациях, равных 0,0001—0,05 грамм-эквивалентов на 1 л, может быть выражена параболической формулой:

$$\kappa_t = \kappa_{18} [1 + \alpha(t - t_{18}) + \beta(t - t_{18})^2]. \quad (25)$$

Соответственно зависимость для сопротивления R получается

$$R_t = \frac{R_{18}}{1 + \alpha(t - t_{18}) + \beta(t - t_{18})^2}, \quad (25a)$$

где χ_t — удельная электропроводность при t° в Ω^{-1} ;
 χ_{18} — удельная электропроводность при 18° в Ω^{-1} ;
 R_t — сопротивление электролита при t° в Ω ;
 R_{18} — сопротивление электролита при 18° в Ω ;
 α и β — температурные коэффициенты.

Кольрауш в своей работе отмечает, что формула (25) удачно выражает зависимость электропроводности от температуры; кроме того, он дает соотношение между коэффициентами в следующем виде:

$$\beta = 0,0163 (\alpha - 0,0174).$$

В табл. 3 приведены числовые значения коэффициента α по данным Кольрауша для концентрации 0,001 грамм-эквивалентов на 1 л в интервале $0-30^\circ$.

ТАБЛИЦА 3
 ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО
 КОЭФИЦИЕНТА

Компоненты	$\alpha \cdot 10^3$	Компоненты	$\alpha \cdot 10^3$	Компоненты	$\alpha \cdot 10^3$
KCl	2,17	$\frac{1}{2}$ MgCl ₂	2,32	$\frac{1}{2}$ Mg SO ₄	2,38
NaCl	2,26	Na NO ₃	2,20	HCl	1,64
LiCl	2,32	$\frac{1}{2}$ Na ₂ CO ₃	2,61	HNO ₃	1,65
RbCl	2,14	$\frac{1}{2}$ K ₂ SO ₄	2,22	$\frac{1}{2}$ H ₂ SO ₄	1,65
$\frac{1}{2}$ CaCl ₂	2,29	$\frac{1}{2}$ Na ₂ SO ₄	2,33	$\frac{1}{3}$ H ₃ PO ₄	1,69
$\frac{1}{2}$ BaCl ₂	2,25	$\frac{1}{2}$ Li ₂ SO ₄	2,38	KOH	1,90

Из таблицы видно, что температурный коэффициент α для слабых растворов солей в среднем приблизительно равен 0,023 и колеблется в интервале 0,021—0,026, для кислот в среднем приблизительно равен 0,016 и для щелочей — 0,019.

В общем, с изменением температуры на 1° электропроводность изменяется от 1,5 до 2,5%. Отсюда очевидно, насколько важно постоянство температуры раствора при измерениях электропроводности.

Сухой остаток конденсата пара или питательной воды есть, как известно, сумма солей, состоящая из следующих компонентов по данным водной лаборатории Всесоюзного теплотехнического института: сернокислого кальция CaSO₄; углекислого кальция CaCO₃; хлористого натрия NaCl; углекислого натра (сода) Na₂CO₃; сернокислого натра Na₂SO₄ и незначительного количества магниевых солей.

На основании табл. 1 мы видим, что подвижность ионов вышеупомянутых солей колеблется в среднем около 46 для (+) ионов и около 68 для (—) ионов. Это дает возможность заключить, что по электропроводности конденсата или питательной воды мы можем судить об общей его эквивалентной концентрации. Однако считаем необходимым отметить, что при наличии в водных растворах кислот и щелочей сделанное нами выше обобщение полностью нарушается, так как при наличии кислот возможно появление ионов водорода, подвижность которых равна 315, а при наличии щелочей могут появиться ионы гидроксильной группы, подвижность которых равна 172. Необходимо еще учесть, что температурные коэффициенты для солей, кислот и щелочей значительно отличаются между собой.

Исходя из вышеупомянутого, мы приходим к выводу, что невозможно создать прибор, который дал бы возможность одновременно определять суммарные количества солей, кислот и щелочей в водных растворах. Данные по исследованию конденсата пара и питательной воды говорят за отсутствие свободных кислот, наличие же щелочей подтверждается. Следовательно, градуирование шкалы прибора в мг/л может быть произведено при условии учета возможного влияния щелочей, т. е. в случае заданного отношения содержания солей и щелочей.

Необходимо, конечно, отметить, что величина погрешности при определении сухого остатка будет меньше с увеличением разбавления раствора. В конденсатах пара она ниже, чем в питательной воде, содержащей кроме конденсата, и химически очищенную воду (сухой остаток для конденсатов пара примерно равен 2—6 мг/л, а для питательной воды 100—200 мг/л).

Выше было дано понятие об эквивалентной концентрации η , в эксплуатационной же практике концентрация обычно выражается в мг/л, поэтому для удобства вычислений приводим пересчет одних единиц в другие.

Обозначая:

P — концентрацию в мг/л;

η — эквивалентную концентрацию раствора, т. е. измеренную в грамм-эквивалентах вещества, растворенного в 1 см³ раствора;

ϕ — эквивалентный вес электролита (по табл. 4), имеем

$$P = \eta \cdot \phi \cdot 10^6 \text{ мг/л или } \eta = \frac{P}{\phi} \cdot 10^{-6}$$

ТАБЛИЦА 4

Положительные ионы		Отрицательные ионы		Положительные ионы		Отрицательные ионы	
	б		б		б		б
H	1,008	Cl	35,46	$\frac{1}{2}$ Zn	32,68	CHO ₃	45,01
K	39,10	Br	79,92	$\frac{1}{2}$ Cd	56,20	C ₂ H ₃ O ₂	59,03
Na	23,00	I	126,92	$\frac{1}{2}$ Cu	31,78	$\frac{1}{2}$ O	8,00
Li	6,94	F	19,00	$\frac{1}{2}$ Fe	27,92	$\frac{1}{2}$ S	16,03
Ag	107,88	OH	17,01	$\frac{1}{2}$ Mn	27,46	$\frac{1}{2}$ SO ₄	48,03
NH ₄	18,04	CN	26,01	$\frac{1}{2}$ Ni	29,34	$\frac{1}{2}$ CrO ₄	58,60
$\frac{1}{2}$ Ba	68,68	NO ₃	62,01	$\frac{1}{2}$ Pb	103,60	$\frac{1}{2}$ CO ₃	30,00
$\frac{1}{2}$ Sr	43,81	ClO ₃	83,46	$\frac{1}{2}$ Cr	26,00	$\frac{1}{2}$ C ₂ O ₄	40,00
$\frac{1}{2}$ Ca	20,03	BrO ₃	127,92	—	—	$\frac{1}{2}$ SiO ₃	38,13
$\frac{1}{2}$ Mg	12,16	IO ₃	174,92				

3. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАСТВОРОВ МОСТИКОМ УИТСТОНА

Впервые лабораторные приборы для измерения электропроводности растворов были разработаны в конце прошлого столетия. Кольрауш и Гольборн, авторы замечательного труда „Проводимость электролита“, в 1898 г. описали созданный ими лабораторный прибор для измерения электропроводности растворов. Этот прибор состоит из электролитного сосуда с двумя платиновыми электродами, включенными в цепь мостика Уитстона как одно из плечей последнего.

Как известно, при прохождении постоянного тока через раствор на поверхности электродов осаждаются газообразные продукты происходящего при этом электролиза. Вследствие этого явления, носящего название поляризации, сопротивление между электродами увеличивается, а электропроводность соответственно уменьшается.

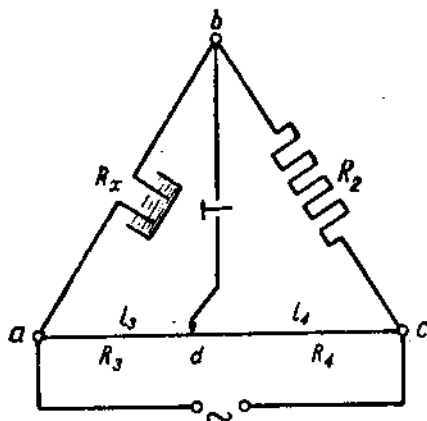
При прохождении через раствор переменного тока явления поляризации в значительной степени могут быть уменьшены, а при увеличении частоты они приводятся к таким малым величинам, что ими можно пренебречь.

Учитывая вышеизложенное, для определения электропроводности применяются мостовые схемы, питаемые переменным током.

Мостовые схемы получили широкое практическое применение в лабораторной практике благодаря тому, что они просты и дают возможность с большой точностью опре-

делить сопротивление раствора и его электропроводность. Из мостовых схем наиболее распространенной для определения электропроводности является схема мостика Уитстона в ее различных технических выполнениях¹.

Схема мостика Уитстона представлена на фиг. 1, где R_x — сопротивление электролита, а R_2 , R_3 и R_4 — известные и переменные сопротивления. Сопротивления R_3 и R_4 представляют собой части одной и той же натянутой калиброванной проволоки, ac — реохорд с ползунком d (фиг. 1), T — телефон или нулевой прибор переменного тока. Ток в точке a разветвляется на две ветви abc с сопротивлениями R_x и R_2 и adc с сопротивлениями R_3 и R_4 , а в точке c сходится.



Фиг. 1. Схема мостика Уитстона с реохордом.

R_x — измеряемое сопротивление; R_2 — известное сопротивление; R_3 и R_4 — сопротивление частей реохорда.

или когда нулевой прибор не дает отклонения, имеет место отношение:

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

откуда искомое сопротивление электролита равняется

$$R_x = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2. \quad (26)$$

Равновесие схемы мостика, при котором достигается прекращение звука в телефоне, устанавливается передвиже-

¹ а) А. Эйкен, Физико-химический анализ в производстве, 1936;
б) А. И. Рыбкин, Прибор для определения электропроводности растворов и его применение в производственном контроле и анализе, 1936.

нием ползушка d вдоль реохорды. Этим передвижением изменяется отношение сопротивлений $\frac{R_1}{R_4}$. Поскольку проволока калибрована, т. е. имеет на любом участке одинаковые сопротивления на единицу длины, то отношение $\frac{R_1}{R_4}$ может быть заменено отношением отрезков проволоки $\frac{l_1}{l_4}$, и уравнение (26) может быть выражено следующим образом:

$$R_x = \frac{l_1}{l_4} \cdot R_2. \quad (27)$$

Уравнение (27) выражает искомое сопротивление электролита. Зная его, можно определить удельную электропроводность, которая согласно уравнению (3) выражается равенством

$$\kappa = \frac{l}{s \cdot R_x}, \quad (28)$$

где l — расстояние между электродами в см, а s — их поперечное сечение в см².

Обычно в практике расстояние между электродами и их поперечное сечение отличаются от размерностей сосуда, и измеренная удельная электропроводность не соответствует действительной удельной электропроводности раствора. Определение удельной электропроводности по формуле (28) крайне неудобно, так как связано с необходимостью измерения пространства между электродами и требует учета влияния объема сосуда. Удельную электропроводность удобнее определить косвенным путем, введя постоянную сосуда C (емкость сопротивления), которая зависит от расстояния между электродами и от их поверхности, т. е. $C = \frac{l}{s}$. Постоянную сосуда (датчика) можно, очевидно, определить при помощи раствора с известной удельной электропроводностью. Тогда постоянная для данного сосуда (датчика) по уравнению (28) будет выражена формулой вида:

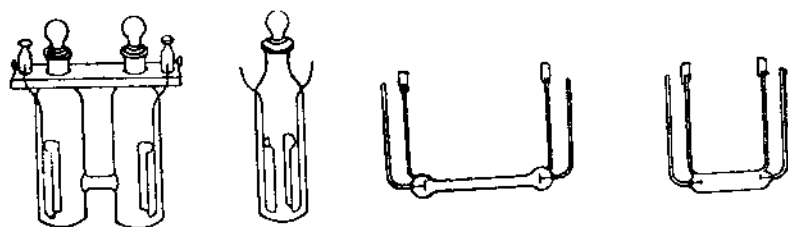
$$\frac{l}{s} = C = R'_x \cdot \kappa', \quad (29)$$

где κ' — известная удельная электропроводность раствора, R'_x — его сопротивление (определенное по формуле (27)).

Зная C , получим для определения удельной электропроводности исследуемых растворов следующую формулу:

$$\kappa = \frac{C}{R_x} \quad (30)$$

Формы сосудов, которыми пользуются в лабораторной практике для определения электропроводности растворов, приведены на фиг. 2. Обычно эти сосуды изготавливаются из стекла, а электроды — из листовой платины.



Фиг. 2. Электролитные сосуды лабораторного типа.

Выше отмечалось, что благодаря применению переменного тока для питания мостиков уменьшается влияние поляризации. Однако переменный ток обычной частоты (50 Hz) не полностью устраняет поляризацию, увеличение же частоты до 1000 Hz и выше снижает влияние поляризации до минимальной величины.

Другим методом уменьшения поляризации является увеличение поверхности электродов или покрытие поверхности электродов платиновой чернью.

Пример определения постоянной сосуда (датчика) C . В качестве раствора с известной удельной электропроводностью возьмем раствор KCl (табл. 5).

ТАБЛИЦА 5

°C	Удельная электропроводность			
	$\frac{1}{1}$ норм. раств.	$\frac{1}{10}$ норм. раств.	$\frac{1}{50}$ норм. раств.	$\frac{1}{100}$ норм. раств.
18	0,09827	0,01120	0,002397	0,001225
21	0,10400	0,01191	0,002553	0,001305
25	0,11180	0,01288	0,002765	0,001413

Зальем $\frac{1}{50}$ норм. раств. в сосуд (датчик) и измерим его сопротивление ($R_x = \frac{l_2}{l_4} R_2$) при 21° . По табл. 5 найдем удельную электропроводность κ' данного раствора.

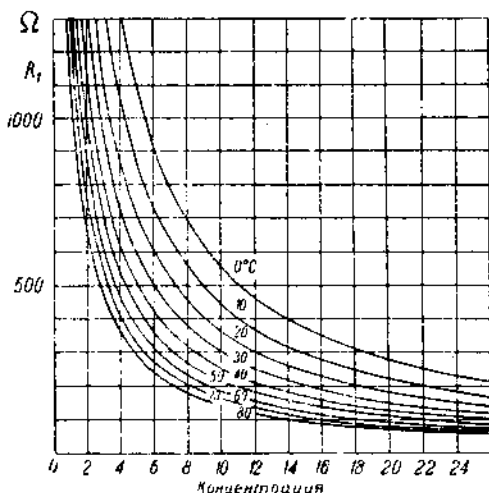
Пользуясь формулами (27) и (29), получим для данного сосуда постоянную C

$$C = R_x \kappa' = \frac{l_2 \cdot R_2 \cdot \kappa'}{l_4}.$$

4. КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОЛИТА НА ПОКАЗАНИЯ СОЛЕМЕРА

Под компенсацией влияния температуры электролита на показания солемера или сокращенно под температурной компенсацией подразумевается применение специальных приспособлений или особых схем, устраняющих или сводящих к минимальным величинам погрешности, возникающие вследствие отклонения температуры электролита от температуры, принятой при градуировании.

Выше уже отмечалось, что электропроводность растворов зависит в значительной степени от температуры, изменяясь в пределах 1,5—2,5% на каждый 1° . Естественно что в приборах, предназначенных для контроля солесодержания в эксплуатационных условиях, должна предусматриваться температурная компенсация, устраняющая влияние колебаний температуры раствора на показания прибора. Влияние температуры электролита на показания солемера наглядно иллюстрируется кривыми фиг. 3. Здесь по оси абсцисс отложены концентрации, а по оси ординат — сопротивление электролита.



Фиг. 3. Зависимость сопротивления электролита от температуры при разных концентрациях.

Простейшим способом для учета влияния температуры на показания солемера является введение табличных поправок при одновременном измерении температуры раствора или в нашем случае конденсата, поступающего в датчик. Для удобства эксплуатационного обслуживания указатель температуры устанавливается рядом с указателем солемера. Поправки в данном случае определяются с помощью специально составленных таблиц или диаграмм, характеризующих изменение показаний для различных пределов температур и концентраций.

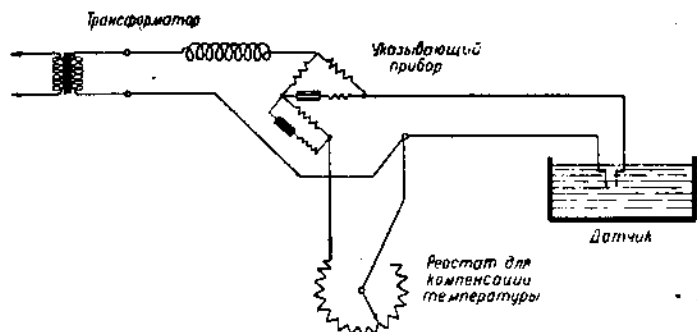
Этот метод определения погрешностей в эксплуатационных условиях неудобен.

Была попытка внести некоторые упрощения в данный метод введения поправок, нанеся соответствующие кривые поправок непосредственно на шкале прибора. Однако это упрощение не устраняет необходимости одновременно с наблюдением за показаниями солемера производить измерение температуры конденсата, протекающего через датчик. Данное обстоятельство в эксплуатационных условиях создает известные затруднения, особенно для автоматической регистрации соледержания. Некоторое приближение к автоматизации устранения температурного влияния выполнено в приборе Дионик фирмы Эвершед и Виньоль. В этом приборе температурная компенсация осуществляется изменением высоты столба измеряемого раствора путем перемещения одного из электродов относительно другого.

Чтобы было учтено изменение температуры, достаточно переместить электрод до совпадения стрелки, укрепленной на выходящем наружу стержне электрода, с мениском ртути в термометре, которым измеряется температура раствора.

Следующим, более совершенным полуавтоматическим методом температурной компенсации является схема фиг. 4. В этом приборе температурная компенсация осуществляется тарированным реостатом, включенным в схему солемера. На фиг. 4 против движка реостата нанесены цифры, выраженные в °С. Измерив температуру раствора, устанавливают стрелку движка реостата против значения, соответствующего данной температуре. Этой операцией приводят показания солемера к действительным показаниям, соответствующим температуре градуирования. Поскольку все вышеописанные полуавтоматические способы температурной компенсации требуют добавочного постоянного контроля температуры электролита, они усложняют эк-

сплоатацию солемеров и делают, как уже указывалось выше, невозможным применение автоматической регистрации солесодержания.



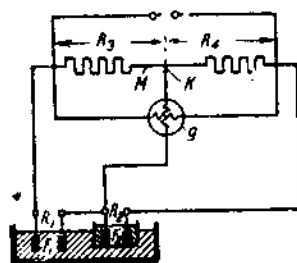
Фиг. 4. Принципиальная схема солемера Карпантье.

За последнее время рядом зарубежных фирм были предложены и осуществлены схемы солемеров с автоматической температурной компенсацией.

Выше указывалось, что при различных температурах и концентрациях величина температурного коэффициента раствора имеет разные значения. Помимо этого, самая зависимость изменения сопротивления электролита от температуры его имеет криволинейный вид. Поэтому создать автоматическую температурную компенсацию, исключаяющую полностью влияние температуры, очень трудно. Следует отметить, что температурная компенсация в большинстве приборов не обеспечивает одну и ту же точность для всех точек шкалы.

Наиболее простой способ автоматической температурной компенсации применен в одном из первых эксплуатационных солемеров, схема которого приведена на фиг. 5.

Температурная компенсация в этом приборе осуществляется вторым электролитным сосудом F_2 , содержащим стандартный раствор, который имеет температурный коэф-

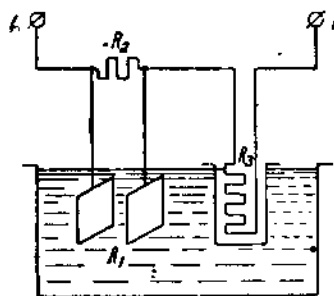


Фиг. 5. Принципиальная схема солемера Лидс и Нортруп.

R_1 — сопротивление электролита; R_2 — сопротивление стандартного раствора; R_3 и R_4 — металлические сопротивления плеч мостика; g — нулевой прибор; M — скользящий контакт; R — реостат (реохорд).

циент, аналогичный коэффициенту контролируемого раствора. Этот сосуд омывается снаружи контролируемым раствором и имеет одинаковую с ним температуру. Электроды F_2 , помещенные в сосуд со стандартным раствором, а также рабочие электроды F_1 совместно с металлическими сопротивлениями R_2 и R_4 при заполнении датчика раствором составляют схему равновесного мостика Уитстона.

Поскольку изменение температуры в равной степени влияет на изменения сопротивления раствора, находящегося в стандартном сосуде, и раствора, протекающего в датчике, то данным включением достигается автоматическая компенса-



Фиг. 6. Схема температурной компенсации солемера фирмы Гартман и Браун.

R_2 — сопротивление электролита,
 R_1 — манганиновое сопротивление,
 R_3 — медное сопротивление.

сация температурного коэффициента электролита. Вышеописанный способ температурной компенсации осуществляется в приборах фирмы Лидс и Нортруп. Ниже мы опишем способы температурной компенсации, осуществляемые с помощью параллельно и последовательно включенных сопротивлений с малым и большим температурным коэффициентом в цепи электродов сосуда (датчика).

Указанный способ температурной компенсации применен в приборе Гартман и Браун, схема которого приведена на фиг. 6. Сопротивление R_2 , вклю-

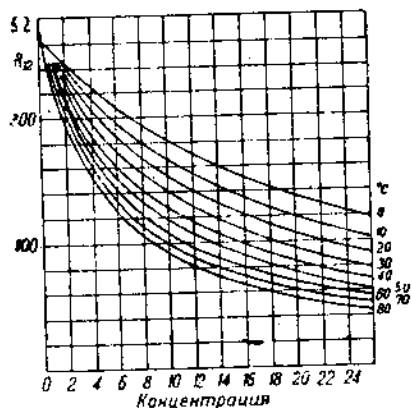
ченное параллельно с сопротивлением R_1 электролита, заключенного между электродами, изготовлено из металла, имеющего малый температурный коэффициент (манганин).

Сопротивление R_3 , включенное последовательно с электролитным сопротивлением R_1 и сопротивлением R_2 , имеет большой температурный коэффициент. Это сопротивление R_3 , выполненное в виде термометра сопротивления, помещается в одинаковые с электродами температурные условия. Сопротивления R_2 и R_3 по данным фирмы можно подобрать таким образом, что общее сопротивление электрической цепи между точками А и В для заданного интервала температур и концентраций электролита практически будет в малой степени зависеть от колебания температуры.

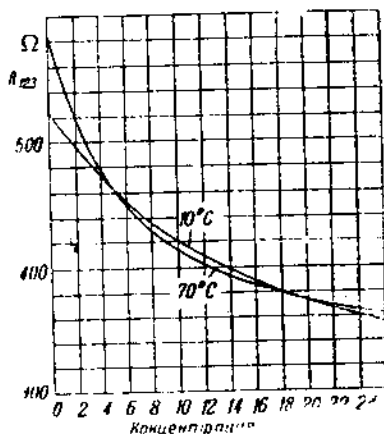
Для большей наглядности приводим на фиг. 7 и 8 диаграммы, показывающие изменение сопротивления элек-

тролита с изменением концентрации и температуры¹.

На фиг. 7 приведена зависимость сопротивления электролита от температуры при разных концентрациях с включенным параллельно цепи электролита сопротивлением R_2 . На фиг. 8 дана та же зависимость, но при включенной комбинации сопротивлений R_2 и R_3 , т. е. осуществлена полностью схема температурной компенсации. Характеристика температурной компенсации, приведенная на фиг. 8, под-



Фиг. 7. Зависимость сопротивления электролита от температуры при разных концентрациях с включенным параллельно цепи электролита сопротивлением R_2 .



Фиг. 8. Кривые, характеризующие точность температурной компенсации солемера фирмы Гартман и Браун.

тверждает, что данная схема не обеспечивает одинаковой точности температурной компенсации для всех точек шкалы.

Ниже приводим теоретические обоснования данной схемы температурной компенсации², разработанные фирмой Гартман и Браун. Эти выкладки и расчеты представляют интерес ввиду их простоты и возможности расчетным путем определить величину сопротивлений, необходимых для осуществления температурной компенсации для разных интервалов концентраций и температуры электролитов (ограниченных заданной максимальной погрешностью в промежу-

¹ По данным фирмы Гартман и Браун.

² Использован материал, помещенный на стр. 435 «Archiv für Elektrotechnik», т. XXIII, 1929.

точных точках). Если имеется раствор с концентрацией η_1 при температуре t_1 , то электропроводность такого раствора может быть выражена уравнением:

$$x_{1, \eta_1, t_1} = x_{1, \eta_1, t_0} [1 + \alpha_{1, \eta_1} (t_1 - t_0) + \beta_{1, \eta_1} (t_1 - t_0)^2]$$

или сокращенно

$$x_{1, \eta_1, t_1} = x_{1, \eta_1, t_0} \cdot a_{1, \eta_1, t_1} \quad (31)$$

где α_1 и β_1 — температурные коэффициенты данного раствора. Подстрочные обозначения: η_1 , t_0 и t_1 обозначают, что электропроводность или температурные коэффициенты относятся к данной концентрации и температуре (последнее касается только электропроводности). Величина a_{1, η_1, t_1} в сокращенном обозначении заменяет выражение, заключенное в квадратные скобки.

При той же концентрации η_1 , но при другой температуре t_2 уравнение электропроводности соответственно будет:

$$x_{1, \eta_1, t_2} = x_{1, \eta_1, t_0} [1 + \alpha_{1, \eta_1} (t_2 - t_0) + \beta_{1, \eta_1} (t_2 - t_0)^2]$$

или

$$x_{1, \eta_1, t_2} = x_{1, \eta_1, t_0} \cdot a_{1, \eta_1, t_2} \quad (32)$$

При растворе с концентрацией η_2 и температурах t_1 и t_2 уравнения электропроводности будут:

$$x_{1, \eta_2, t_1} = x_{1, \eta_2, t_0} [1 + \alpha_{1, \eta_2} (t_1 - t_0) + \beta_{1, \eta_2} (t_1 - t_0)^2]$$

или

$$x_{1, \eta_2, t_1} = x_{1, \eta_2, t_0} \cdot a_{1, \eta_2, t_1} \quad (33)$$

$$x_{1, \eta_2, t_2} = x_{1, \eta_2, t_0} [1 + \alpha_{1, \eta_2} (t_2 - t_0) + \beta_{1, \eta_2} (t_2 - t_0)^2]$$

или

$$x_{1, \eta_2, t_2} = x_{1, \eta_2, t_0} \cdot a_{1, \eta_2, t_2} \quad (34)$$

Манганиновое сопротивление R_2 не зависит от изменения температуры и концентрации, т. е. можем записать, что

$$x_{2, t_1} = x_{2, t_0}$$

так как

$$\alpha_2 = 0 \text{ и } \beta_2 = 0. \quad (35)$$

Сопротивление же R_3 , обладая большим температурным коэффициентом, зависит от температуры, но не зависит от концентрации раствора.

Это сопротивление при температуре раствора t_1 будет равно:

$$R_{3, t_1} = R_{3, t_0} [1 + \alpha_3 (t_1 - t_0) + \beta_3 (t_1 - t_0)^2]$$

или

$$R_{3, t_1} = R_{3, t_0} \cdot a_{3, t_1} \quad (36)$$

При температуре t_2 сопротивление R_3 соответственно равно:

$$R_{3, t_2} = R_{3, t_0} [1 + \alpha_3 (t_2 - t_0) + \beta_3 (t_2 - t_0)^2]$$

или

$$R_{3, t_2} = R_{3, t_0} \cdot a_{3, t_2} \quad (37)$$

Сопротивления R_2 и R_3 подбираются таким образом, чтобы общее сопротивление цепи $A - B$ (фиг. 6) соответствовало следующим требованиям:

1. При концентрации η_1 и температуре t_1 оно должно быть равным сопротивлению при той же концентрации η_1 и температуре t_2 .

2. При концентрации η_2 и температуре t_1 оно должно быть равным сопротивлению при той же концентрации η_2 и температуре t_2 . Эти два условия составляют следующие зависимости:

$$R_{x, \eta_1, t_1} = R_{x, \eta_1, t_2} \quad (38)$$

$$R_{x, \eta_2, t_1} = R_{x, \eta_2, t_2} \quad (39)$$

При этом, пользуясь уравнениями (31—37), получаем следующие уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{1}{x_{1, \eta_1, t_0} \cdot a_{1, \eta_1, t_1} + x_2} + R_{3, t_0} \cdot a_{3, t_1} &= \\ &= \frac{1}{x_{1, \eta_1, t_0} \cdot a_{1, \eta_1, t_2} + x_2} + R_{3, t_0} \cdot a_{3, t_2} \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{x_{1, \eta_2, t_0} \cdot a_{1, \eta_2, t_1} + x_2} + R_{3, t_0} \cdot a_{3, t_1} &= \\ &= \frac{1}{x_{1, \eta_2, t_0} \cdot a_{1, \eta_2, t_2} + x_2} + R_{3, t_0} \cdot a_{3, t_2} \end{aligned} \quad (41)$$

Решая два уравнения (40) и (41), с двумя неизвестными x_2 и R_{3, t_0} относительно x_2 с принятием предположения, что температурный коэффициент практически от концентрации электролита для выбранного интервала не зависит, т. е.

$$a_{1, \eta_1, t_1} = a_{1, \eta_1, t_2} = a_{1, t_1}$$

и

$$a_{1, \eta_2, t_1} = a_{1, \eta_2, t_2} = a_{1, t_2},$$

получаем:

$$x_2 = \sqrt{x_{1, \eta_1, t_0} \cdot x_{1, \eta_2, t_0} \cdot a_{1, t_1} \cdot a_{1, t_2}} \quad (42)$$

Для R_{3, t_0} соответственно получаем следующую зависимость:

$$R_{3, t_0} = \frac{x_{1, \eta_1, t_0} \cdot (a_{1, \eta_2, t_1} - a_{1, \eta_1, t_2})}{(x_{1, \eta_1, t_0} \cdot a_{1, \eta_1, t_2} + x_2) \cdot (x_{1, \eta_2, t_0} \cdot a_{1, \eta_1, t_1} + x_2) \cdot (a_{3, t_1} - a_{3, t_2})} \quad (43)$$

Пользуясь уравнениями (42) и (43), при заданных концентрациях η_1 и η_2 и температурах t_1 и t_2 , при которых намечено осуществить полную компенсацию, можно определить x_2 и $R_{3.t_0}$, а следовательно и величину сопротивлений R_2 и R_3 .

На фиг. 9 приводим зависимость изменения сопротивления электролита от изменения температуры при различных концентрациях. Как видно из фигуры, кривые, изображающие изменение солесодержания при разных температурах, могут быть пересечены наклонными прямыми линиями, исходящими из одной точки; при этом кривые мало отклоняются (в определенном интервале) от проведенных наклонных линий¹.

Угол наклона этих прямых графически определяет солесодержание с учетом влияния температуры, т. е.

$$\operatorname{ctg} \alpha = f(x) = \frac{a-t}{R} = \frac{1}{R} (a-t), \quad (41)$$

где a — постоянная.

Следует отметить, что точка пересечения проведенных наклонных прямых лежит на оси абсцисс при условии, если измеряется солесодержание сильно разбавленных растворов; последнее имеет место при измерении конденсатов.

Фиг. 9. Зависимость изменения сопротивления электролита от изменения температуры при разных концентрациях.

В последней модели (1937) прибора фирмы Сименс и Гальске применена измерительная схема с температурной компенсацией, изображенная на фиг. 10. Сопротивление электролита R (между электродами e) взято высоким по сравнению с общим сопротивлением мостика, поэтому ток, проходящий через всю установку, а также ток мостика I практически пропорциональны проводимости

$$I = C_1 \cdot \frac{1}{R}. \quad (45)$$

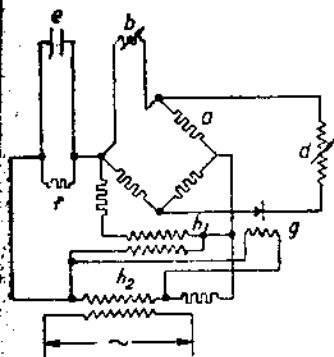
Ток i_g , протекающий через диагональ мостика, зависит

¹ По данным фирмы Сименс и Гальске.

не только от тока I , но и от разности сопротивлений плеч a и b , из которых a — не изменяющееся, а b — изменяющееся в зависимости от температуры t электролита (термометр сопротивления, омываемый электролитом).

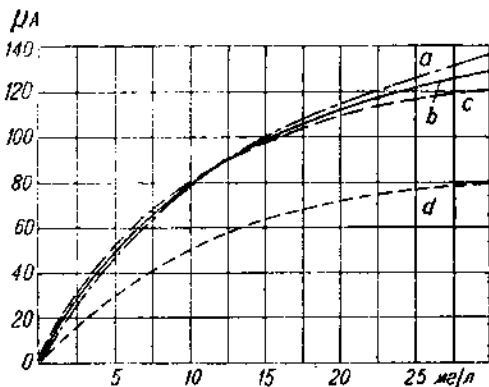
Величина тока, протекающего через диагональ мостика, определяется формулой

$$i_g = C_2 \cdot I (a - t) \quad (46)$$



Фиг. 10. Принципиальная схема солемера Сименса и Гальске с температурной компенсацией.

a — постоянные сопротивления плеч мостика; f — манганиновое сопротивление; e — электроды; b — термометр сопротивления; d — гальванометр; h_1 и h_2 — трансформаторы и g — механический вибрационный выпрямитель.



Фиг. 11. Кривые, характеризующие пределы и точность температурной компенсации солемера фирмы Сименс и Гальске

или, подставляя значение I из предыдущей формулы, получаем:

$$i_g = C_1 \cdot C_2 \frac{1}{R} (a - t), \quad (47)$$

т. е. значение, пропорциональное содержанию солей с учетом изменения температуры.

Сопротивление f , шунтирующее сопротивление электролита, выравнивает омическую характеристику электролита, и облегчает выполнение температурной компенсации.

На фиг. 11 приведена диаграмма, характеризующая пределы и точность температурной компенсации в солемере фирмы Сименс и Гальске. Кривая a соответствует показаниям при 30° , b — при 50° и c — при 80° , с применением температурной компенсации. Для сравнения нанесена кривая d , показывающая, как изменяется показание прибора при 30° , если градуирование производилось при 80° и отсутствует температурная компенсация.

Из сопоставления кривых видно, что полная компенсация температурных влияний осуществлена только для одной концентрации (около 12 мг/л) — для других концентраций имеется определенная погрешность.

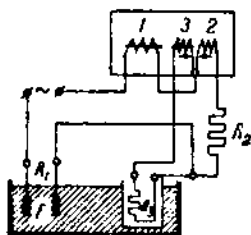
Ниже мы опишем еще один из способов температурной компенсации, предусматривающий компенсацию с помощью термометра сопротивления.

Указанный способ температурной компенсации использован в схеме Гейгера и Шмидта (фиг. 12), где:

R_1 — сопротивление электролита, заключенного между электродами F ;

R_2 — манганиновое сопротивление;

R_3 — металлическое сопротивление (термометр сопротивления), имеющее значительный температурный коэффициент и помещенное в одинаковые с электродами F температурные условия.



Фиг. 12. Схема температурной компенсации Гейгера и Шмидта.

R_1 — сопротивление электролита между электродами F ; R_2 — термометр сопротивления; R_3 — манганиновое сопротивление; 1, 2 и 3 — катушки указателя.

Поля катушек 2 и 3 ориентированы так, что их магнитные потоки направлены один против другого; они дают результирующий поток, по величине и направлению пропорциональный изменению температуры электролита. Этот результирующий поток, противодействуя магнитному потоку катушки 1, осуществляет компенсацию изменения электропроводности электролита вследствие

изменения температуры последнего.

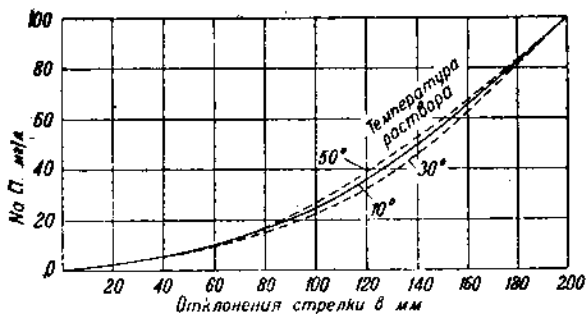
Необходимо отметить, что Гейгер упростил уравнение, устанавливающее зависимость между сопротивлением электролита, и температурой, выразив его формулой:

$$R_t = R_0 [1 - \alpha (t - t_0)]$$

вместо выведенной выше зависимости для сильно разбавленных растворов, выражаемых уравнением (25а). Такое упрощение зависимости сопротивления электролита от температуры его сильно сузило компенсирующую способность схемы Гейгера, так как расчет (по уравнению 25а) показывает, что температурная компенсация этой схемы возможна только для интервала температур не более $\pm 5^\circ$.

Приводимая на фиг. 13 диаграмма, показывающая погрешности прибора Гейгера вследствие влияния температурных изменений, повидимому, составлена на основании расчетных данных по упрощенной формуле Гейгера.

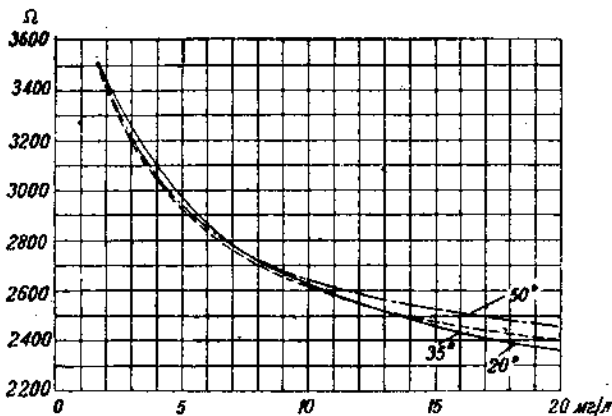
В СССР солемеры с автоматической температурной компенсацией изготавливаются двумя организациями: Центральным научно-исследовательским и конструкторским



Фиг. 13. Кривые, характеризующие температурную компенсацию солемера Гейгера.

котлотурбинным институтом (ЦКТИ) и Центральными лабораториями и Экспериментальными мастерскими Мосэнерго (ЦЛЭММ).

В разработанном солемере ЦКТИ температурная компенсация осуществляется комбинированием в цепи электро-



Фиг. 14. Кривые, характеризующие температурную компенсацию солемера ЦКТИ.

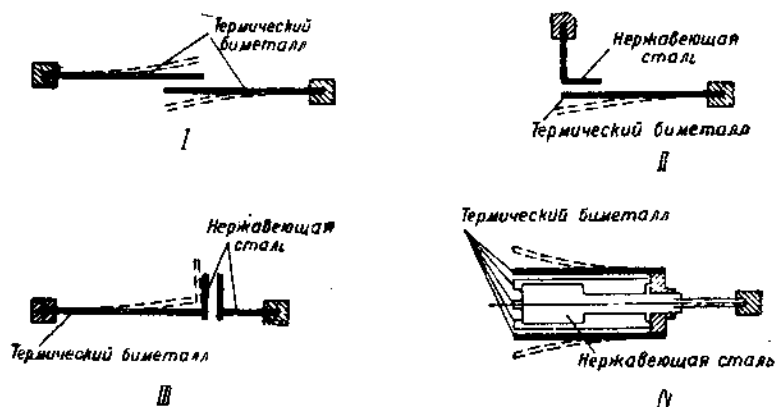
дов двух металлических сопротивлений аналогично схеме фиг. 6.

На фиг. 14 приведена зависимость сопротивления электролита от температуры при разных концентрациях

с включенными параллельно и последовательно цепи электролита металлическими сопротивлениями. Эта диаграмма характеризует компенсирующую способность схемы солемера ЦКТИ.

ЦЛЭММ освоен солемер системы ПШ, способ температурной компенсации которого существенно отличается по принципу и выполнению от всех вышеупомянутых солемеров с автоматической температурной компенсацией.

При разработке авторы прибора учитывали, что температурная компенсация может быть надежной при условии соблюдения полного соответствия характеристики термокомпенсации изменению сопротивления раствора с темпе-



Фиг. 15. Электроды солемера системы ПШ.

ратурой. Решение данного вопроса привело к мысли об изменении сечения и высоты столба раствора в зависимости от колебания температуры.

Технически это свелось к конструированию ряда электродов с термобиметаллическими держателями, а также и самых электродов, изготовленных из термического биметалла.

На фиг. 15 даны четыре варианта (из числа рекомендуемых авторами прибора) электродов компенсаторов: в первом варианте оба электрода изготовлены из термического биметалла, во втором варианте один из электродов изготовлен из термического биметалла, другой — из нержавеющей стали; в третьем варианте один электрод изготовлен из термического биметалла с пластиной рабочей части электрода из нержавеющей стали, а второй электрод целиком из нержавеющей стали и в четвертом варианте один

электрод изготовлен из пучка пластин термического биметалла, расположенных по окружности вокруг второго электрода цилиндрической формы, изготовленного из нержавеющей стали.

При изменении температуры исследуемого раствора пластина из термического биметалла изгибается (на фиг. 15 показано пунктиром) в ту или иную сторону.

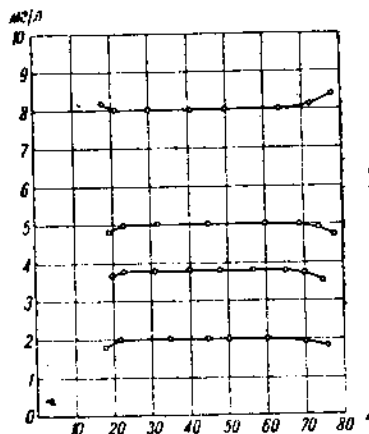
Изменяя сечение и высоту столба исследуемого раствора, заключенного между электродами, мы исключаем влияние изменения температуры раствора на показания прибора.

Компенсирующая способность электродов солемера системы ПШ представлена на фиг. 16.

Достоинством температурной компенсации данного солемера является простота ее и возможность применения любой измерительной системы.

В изготовляемом ЦЛЭММ солемере ПШ используются электроды третьего варианта, схематически показанные на фиг. 15.

Следует особо отметить тип электродов четвертого варианта, так как, повидимому, в противоположность другим вариантам электродов работа их не зависит от находящихся вне электродов металлических частей (стенок кожуха) и от размеров внешнего пространства, заполненного анализируемым раствором, благодаря чему указанные электроды позволяют объем датчика свести к минимуму.



Фиг. 16. Компенсирующая способность электродов солемера системы ПШ для разных пределов шкалы.

5. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ СОЛЕМЕРОВ

Выше мы видели, что мостик Уитстона, обладая высокой точностью, является вместе с тем прибором, неудобным для широкого применения в эксплуатационных условиях при постоянном контроле соледержания. Это неудобство мостика Уитстона выражается в отсутствии наглядности показаний.

Основные требования, предъявляемые к солемерам, предназначенным для эксплуатационных целей, сводятся к следующему:

1) прибор должен быть прост по конструкции и в обслуживании, иметь автоматическую температурную компенсацию;

2) его показания должны автоматически регистрироваться или сниматься простым отсчетом по шкале с помощью наглядного указателя и выражаться непосредственно в единицах данного измерения, без каких-либо пересчетов;

3) точность прибора должна удовлетворять заданным производственным условиям.

Ниже дано описание некоторых промышленных типов солемеров, изготовляемых за границей и в СССР.

Солемер фирмы Лидс и Нортруп. В 1928 г. американская фирма Лидс и Нортруп разработала первый солемер для эксплуатационного контроля соледержания с автоматической температурной компенсацией. Измерительная схема данного прибора представляет равновесный мостик Уитстона с автоматическим регистрирующим потенциометром переменного тока.

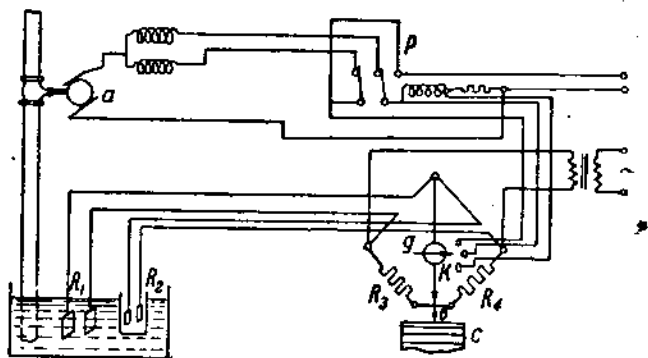
Принципиальная схема данного прибора изображена на фиг. 5. Схема прибора состоит из двух металлических плеч с постоянным сопротивлением R_3 и R_4 . Два других плеча R_1 и R_2 представляют сопротивления электролитов между электродами F_1 и F_2 . Сосуды с электродами F_1 и F_2 помещаются в одни и те же температурные условия. Один из этих сосудов F_2 является эталонным и содержит специальный раствор постоянной концентрации. Выше уже отмечалось, что он служит для осуществления температурной компенсации.

В данной схеме в качестве нулевого гальванометра применен электродинамический прибор с падающей дугой, который при отклонении стрелки гальванометра от нулевого положения включает специальный электромотор, передвигающий ползунок K по реостату P . Этим регулируется сопротивление одной из ветвей мостика, и схема последнего приводится к новому положению равновесия. Ползунок связан с пером и стрелкой для записи и указаний. Положение стрелки показывает непосредственно соледержание (концентрацию), выраженное в единицах данного измерения, не требующих каких-либо поправок или пересчетов.

Применение фирмой Лидс и Нортруп в схеме солемера автоматического потенциометра, являющегося точным

и надежным прибором, а также использование нулевого метода измерения, исключая влияние колебания напряжения в сети, обеспечивает большую точность измерения содержания этим прибором. Данный прибор также позволяет осуществить автоматическое регулирование концентрации. На фиг. 17 приведена схема солемера Лидс и Нортруп, осуществляющего автоматическое регулирование концентрации.

Здесь нулевой прибор с помощью контактов k и промежуточного реле p управляет мотором задвижки и ре-



Фиг. 17. Схема солемера Лидс и Нортруп с приспособлением для автоматического регулирования концентраций.

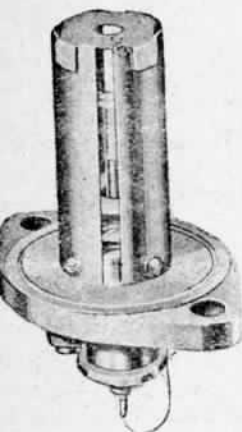
R_1 — сопротивление электролита; R_2 — сопротивление стандартного электролита; R_3 и R_4 — постоянные сопротивления плеч мостика; g — нулевой прибор; C — бумага с пишущим пером — a ; k — контакты; p — реле; a — мотор.

гулирует постоянную концентрацию протекающей жидкости. Одновременно этот прибор осуществляет запись показаний на бумажной ленте.

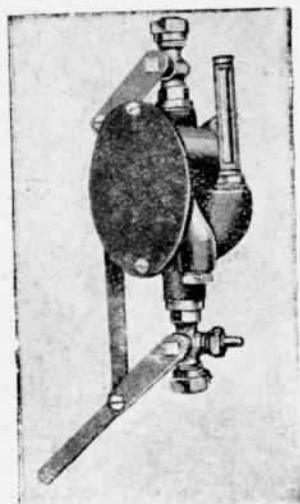
Солемеры фирмы Сименс и Гальске. Фирма Сименс и Гальске в течение последних 10 лет выпустила солемеры нескольких типов, различающихся по выполнению измерительных систем и схемам включения, оставляя неизменной конструкцию своих так называемых клеточных электродов. На фиг. 18 изображен электролитный сосуд, изготовляемый этой фирмой. Сосуд состоит из двух металлических электродов: внешнего и внутреннего. Внешний электрод выполнен в виде клетки, в середине которой помещается цилиндрический стержень, служащий вторым электродом. Такое устройство электродов устраняет влияние стенок кожуха датчика, трубок и других металлических

частей, а также размеров внешнего пространства, заполненного электролитом. Внутренний электрод крепится в фарфоровой втулке, служащей одновременно изолятором.

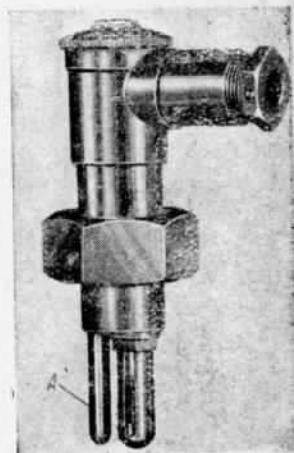
Вышеописанные электроды помещаются в специальный кожух (фиг. 19), снабженный запорной арматурой, гильзой для контрольного термометра и клеммной колодкой для присоединения проводов. Конденсат для анализа поступает



Фиг. 18



Фиг. 19



Фиг. 20

Фиг. 18. Клеточные электроды фирмы Сименс и Гальске.

Фиг. 19. Датчик солемера фирмы Сименс и Гальске.

Фиг. 20. Клеточные электроды фирмы Сименс и Гальске для непосредственного погружения в трубопровод.

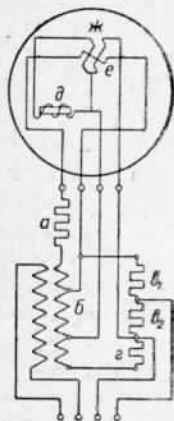
А — термометр сопротивления.

через нижний штуцер и выходит из верхнего, чем обеспечивается постоянное заполнение датчика конденсатом. При выключении датчика со стороны ввода конденсата трехходовой кран соединяет нижний штуцер с атмосферой и освобождает датчик от конденсата.

Фирма Сименс и Гальске изготавливает также клеточные электроды для непосредственного погружения в трубопровод, по которому протекает анализируемый электролит. Предназначенные для этой цели электроды изображены на фиг. 20. Эти электроды принципиально ничем не отличаются от вышеописанных. Для ввинчивания в штуцер тру-

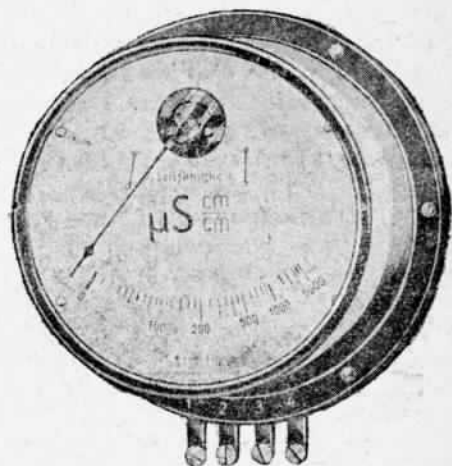
бопровода головка электродов имеет соответствующую нарезку. Рядом с электродами в головке датчика укреплена гильза А; в эту гильзу помещают термометр сопротивления, осуществляющий температурную компенсацию. В качестве указателя солемера без температурной компенсации фирма использует электродинамический прибор с двойной рамкой.

Схема прибора приведена на фиг. 21. Применение двойной рамки в указанном приборе практически устраняет зависимость показаний от колебания напряжения в сети. Фирма гарантирует правильность показаний прибора при колебаниях напряжения в пределах $\pm 20\%$. Питание схемы



Фиг. 21

Фиг. 21. Схема электродинамического указателя солемера фирм Сименс и Гальске.



Фиг. 22

жс — подвижная двойная рамка, е — неподвижная обмотка; а — добавочное сопротивление б — трансформатор; в₂ — сопротивление, включенное параллельно электродом; в и г — сопротивления, устанавливающие предел измерения и характер шкалы при соответствующем соотношении с сопротивлением в₂.

Фиг. 22. Электродинамический указатель солемера фирмы Сименс и Гальске.

производится переменным током 50 Hz, напряжением 120 или 220 V. К электродам же после измерительного трансформатора подводится напряжение около 15 V.

Общий вид вышеописанного указателя электропроводности изображен на фиг. 22.

Не останавливаясь на других измерительных схемах, примененных фирмой Сименс и Гальске до 1936 г. с ис-

пользованием термоумформера или купроксных выпрямителей, для выпрямления измерительного тока, ниже опишем солемер с температурной компенсацией, выпускаемый этой фирмой с 1937 г. Схема солемера с температурной компенсацией приведена на фиг. 10. Применение в данной схеме солемера термометра сопротивления для температурной компенсации предопределило выбор измерительного прибора.

Чтобы избежать погрешностей, зависящих от самонагревания термометра сопротивления при протекании тока, необходим прибор с малым потреблением тока. Этим требованиям удовлетворяют приборы постоянного тока.

К электродам e подводится переменный ток (50 Hz, 120—220 V) от трансформатора h_2 . Параллельно цепи электродов включено сопротивление f , которое в комбинации с сопротивлением b , имеющим большой температурный коэффициент, осуществляет температурную компенсацию. Измерительная схема представляет неравновесный мост, имеющий три постоянных по сопротивлению плеча a и одно b , изменяющее свое сопротивление соответственно температуре анализируемого электролита (конденсата). В качестве измерителя в данной схеме применен гальванометр d .

Выпрямление тока, протекающего в диагонали моста, производится механическим вибрационным выпрямителем g .

По данным фирмы Сименс и Гальске вибрационный выпрямитель значительно надежнее в работе, чем употреблявшиеся до последнего времени в подобных схемах купроксные выпрямители. Это преимущество вибрационного выпрямителя сказывается в том, что он мало чувствителен к температурным влияниям и обладает вполне линейной характеристикой выпрямленного тока. Последнее обстоятельство устраняет нечувствительность измерений в начале шкалы, наблюдавшуюся при применении купроксных выпрямителей. На фиг. 23 приведен общий вид вибрационного выпрямителя. Язычок N большой прочности, с высоким числом собственных колебаний (до 3000 в секунду), приводится в периодическое колебание путем возбуждения электромагнита M , присоединенного к низкой стороне трансформатора h_2 .

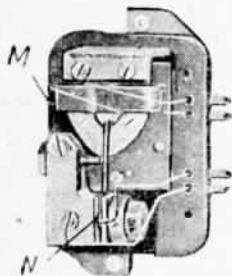
Вследствие того что язычок колеблется синхронно с частотой тока в сети, получается ток одного направления. Для устранения зависимости показаний от колебаний напряжения в сети применен магнитный стабилизатор напряжения.

Все катушки с сопротивлениями (исключая термометр сопротивления b), трансформаторы h_1 и h_2 , а также вибрационный выпрямитель помещаются в отдельный кожух (фиг. 24).

Указатель солемера Сименс и Гальске, работающего по описанной выше схеме, изображен на фиг. 25.

Данная схема допускает присоединение и регистрирующего прибора.

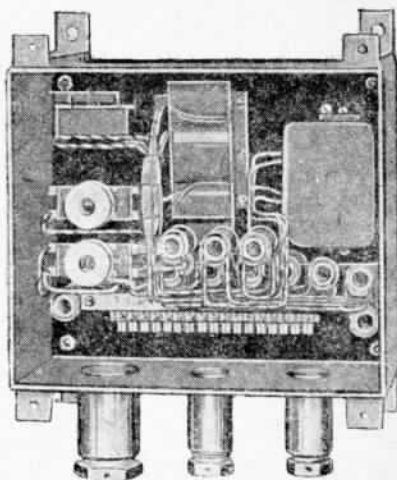
Солемер фирмы Вестгоф. Фирма Вестгоф в Бохуме с 1933 г. изгото-



Фиг. 23. Механический вибрационный выпрямитель фирмы Сименс и Гальске. N —язычок, M —электромагнит.



Фиг. 25. Указатель солемера с температурной компенсацией фирмы Сименс и Гальске.



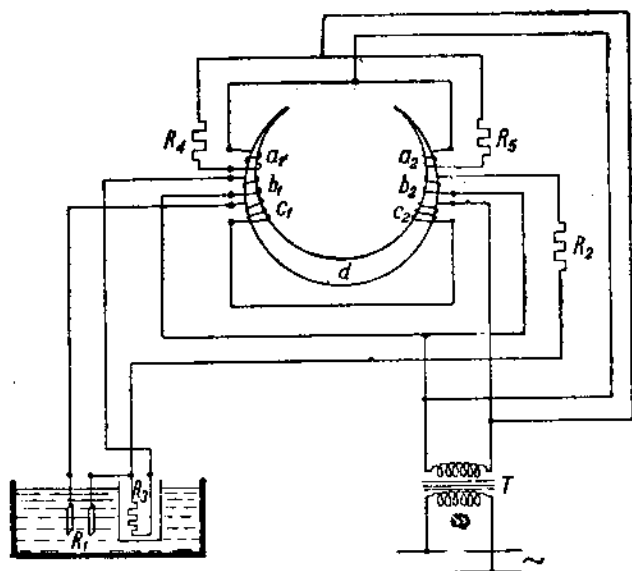
Фиг. 24. Коробка для трансформатора механического вибрационного выпрямителя и всех катушек сопротивления солемера фирмы Сименс и Гальске.

вляет солемеры с автоматической температурной компенсацией по схеме, разработанной Гейгером и Шмидтом. В качестве измерительного прибора в солемере использован электромагнитный логометр Гейгера с железным плоским кольцевым сердечником. Температурная компенсация, принципиальная схема которой была описана выше, осуществляется с помощью термометра сопротивления.

На фиг. 26 приведена принципиальная схема солемера, изготовляемого фирмой Вестгоф. Переменный ток, проходя

через сопротивление R_1 , разветвляется на две параллельные ветви, одна из которых содержит сопротивление R_2 из манганиновой проволоки, а другая имеет металлическое сопротивление R_3 , из материала, обладающего значительным температурным коэффициентом.

Данное сопротивление R_3 выполнено в виде термометра сопротивления и помещено в одни температурные условия



Фиг. 26. Принципиальная схема солемера Гейгера и Шмидта.

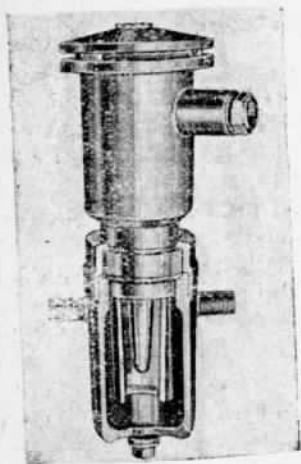
R_1 — сопротивление электролита; R_2 , R_4 и R_5 — манганиновые сопротивления; R_3 — термометр сопротивления; a_1 , a_2 , b_1 , b_2 , c_1 и c_2 — катушки; d — железный плоский кольцевой сердечник.

с электродами. Катушки b_1 и b_2 , включенные последовательно с указанными выше сопротивлениями R_2 и R_3 , имеют противоположно направленные магнитные потоки, создающие результирующий поток, который, как выше было указано, осуществляет температурную компенсацию.

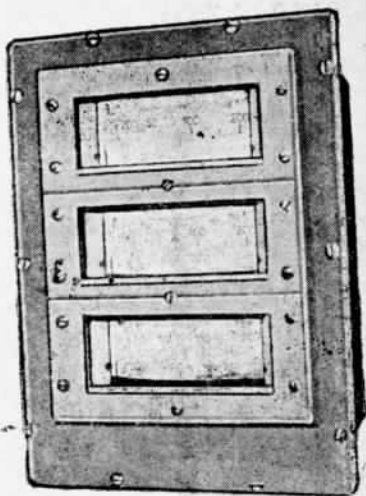
Катушки a_1 и a_2 , включенные последовательно с регулировочными сопротивлениями R_4 и R_5 , питаются переменным током от понизительного трансформатора, имеющего во вторичной цепи напряжения 8 В.

Магнитные поля катушек a_1 и a_2 ориентированы таким образом, что их магнитные потоки противодействуют один

другому. Величина магнитных потоков этих катушек определяет чувствительность электромагнитного логометра. Магнитные потоки катушек C_1 и C_2 , включенных последо-



Фиг. 27. Датчик солемера фирмы Вестгоф.

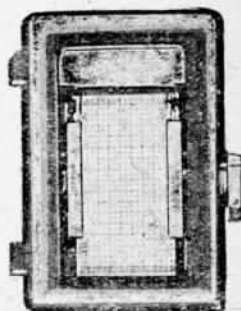


Фиг. 28. Блок из трех указателей солемеров фирмы Вестгоф.

вательно с сопротивлением электролита R_1 , противодействуя один другому и взаимодействуя с магнитным потоком катушек a_1 и a_2 , создают вращающий момент, зависящий от электропроводности раствора. Фирма Вестгоф изготавливает два типа электродов: один для непосредственного погружения в трубопровод и второй тип, который помещается в специальном кожухе (приведен на фиг. 27).

Термометр сопротивления, осуществляющий температурную компенсацию, в первом типе электродов изготавливается отдельно в специальной гильзе для ввинчивания непосредственно в штуцер трубопровода. Во втором типе электродов гильзой для термометра сопротивлением служит средний электрод.

Фирма Вестгоф изготавливает как указывающие, так и регистрирующие солемеры. Общий вид указывающего при-



Фиг. 29. Регистратор солемера фирмы Вестгоф.

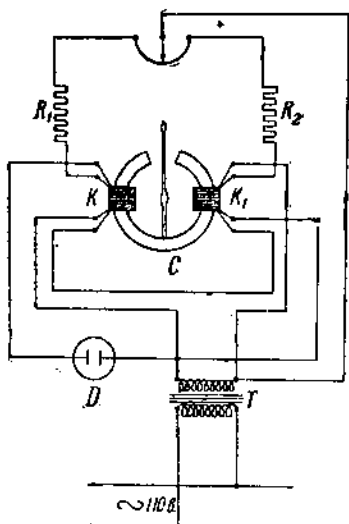
бора приведен на фиг. 28, а регистрирующего — на фиг. 29. Солемер системы УИПЭ. В разработанном Украинским институтом промэнергетики (УИПЭ) солемере использована схема Гейгера — Шмидта с электромагнитным логометром, без температурной компенсации. Схема прибора приведена на фиг. 30.

Из вышесказанного ясно, что данный солемер может применяться в тех случаях, когда температура конденсата поддерживается постоянной и мало отличается от температуры, при которой производилось градуирование прибора.

Сосуд датчика солемера изготовлен из стекла; электродами служат две угольные пластины, вделанные в эбонитовую крышку сосуда, на определенном расстоянии одна от другой. Данный прибор может быть использован для лабораторных целей, что же касается использования его в эксплуатационных условиях, то такое встречает затруднения ввиду отсутствия температурной компенсации и применения электромагнитного логометра с тяжелой подвижной системой на кернах.

Фиг. 30. Схема солемера УИПЭ.

D — датчик; R_1 и R_2 — манганиновые сопротивления; K и K_1 — двойные катушки; C — железный плоский кольцевой сердечник; T — понижающий трансформатор.



Солемер системы ЦКТИ. Солемер системы ЦКТИ состоит из трех основных элементов: 1) датчика с вмонтированными в нем двумя металлическими электролитными сосудами, предназначенными для контроля соледержания конденсата пара одновременно из двух точек отбора;

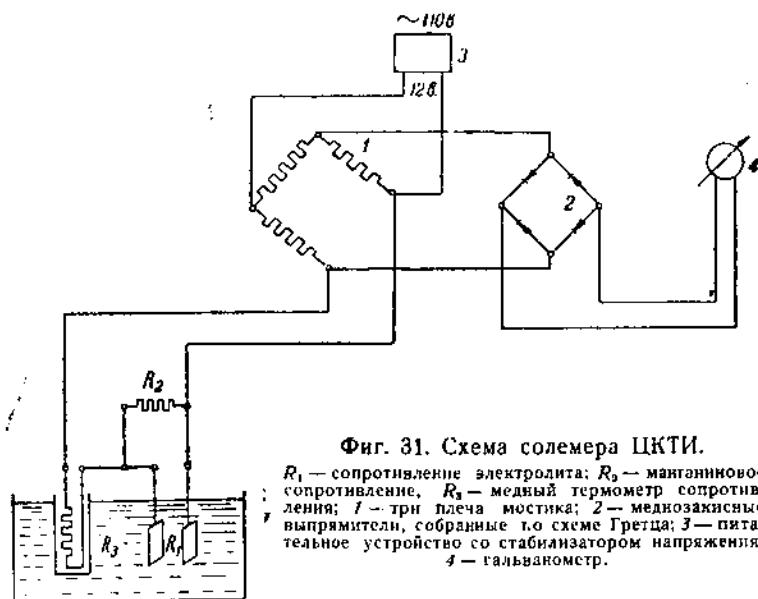
2) регистрирующего гальванометра и 3) питательного устройства со стабилизатором напряжения.

Схема солемера представлена на фиг. 31. Температурная компенсация, как указано выше, осуществляется комбинированием металлических сопротивлений R_2 и R_3 с сопротивлением электролита R_1 . Медное сопротивление R_3 , включенное последовательно с электродами, омывается исследуемым электролитом, следовательно имеет с ним одинаковую температуру. Величина этого сопротивления R_3

при 20° равна 1984Ω ; параллельно включенное сопротивление R_2 при той же температуре равно 2047Ω .

Измерительная схема солемера представляет неравно-весный мостик Уитстона переменного тока, одним из плеч которого является сопротивление электролита, комбини-рованное с вышеуказанными двумя металлическими со-противлениями.

Ввиду того что при применении в измерительной схеме неравновесного мостика показания прибора находятся



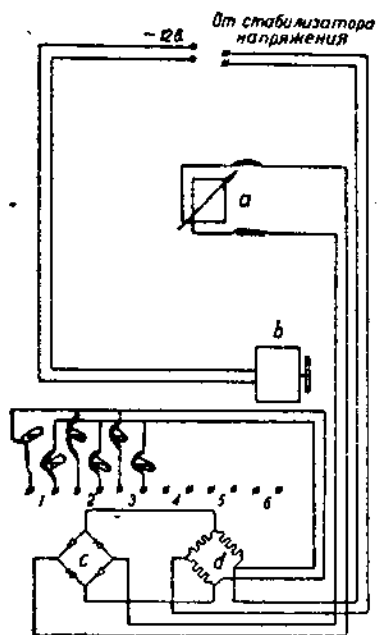
Фиг. 31. Схема солемера ЦКТИ.

R_1 — сопротивление электролита; R_3 — магнитное сопротивление; R_2 — медный термометр сопротивления; 1 — три плеча мостика; 2 — меднозакисные выпрямители, собранные по схеме Гретца; 3 — пита-тельное устройство со стабилизатором напряжения; 4 — гальванометр.

в большой зависимости от напряжения в сети, ЦКТИ ввел в схему стабилизатор напряжения, используя для этой цели баррETER 1-Б-9 (лампа с железной нитью и водородным наполнением). С изменением напряжения железная нить баррЕтера изменяет свое сопротивление и устанавливает постоянной силу тока, проходящего через лампу.

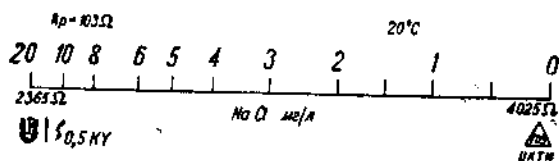
В качестве регистрирующего прибора применен стан-дартный регистрирующий магнитоэлектрический гальвано-метр завода № 218 (тип СГ6), включенный в диагональ изме-рительного мостика через маломощные меднозакисные выпрямители (детекторы), собранные по схеме Гретца.

Схема регистрирующего солемера на шесть точек замера приведена на фиг. 32, а на фиг. 33 показана его шкала, градуированная в мг/л по NaCl . В указанном приборе, помимо гальванометра, кинематической части, двухполюсных ртутных переключателей, моторчика Уоррена, приводящего в движение кинематику, приспособлений для помещения красящих лент и диаграммной бумаги, помещается панель с тремя плечами измерительного мостика и выпрямителя тока.



Фиг. 32. Схема регистрирующего гальванометра на шесть точек солемера ЦКТИ.

a — гальванометр; b — моторчик Уоррена; c — меднозакисные выпрямители, собранные по схеме Гретца; d — три постоянных плеча мостика; $f-6$ — ртутные переключатели.



Фиг. 33. Шкала регистратора солемера ЦКТИ.

Ток для питания измерительного мостика от стабилизатора напряжения подводится к правой паре клемм верхней панели регистратора. К левой паре клемм той же панели подводится переменный ток напряжением 12 В от понижающего трансформатора для питания моторчика Уоррена.

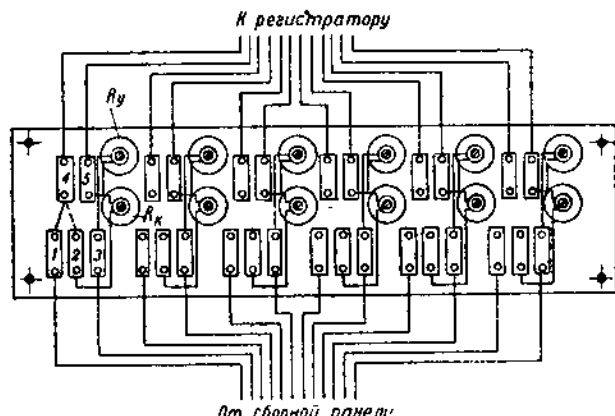
К нижним клеммам регистратора приключаются датчики через уравнивательные сопротивления, которые вместе с сопротивлением соединительных проводов, идущим от датчика до клемм гальванометра, должны быть равны 5Ω .

Указанные выше уравнивательные сопротивления R_u помещены на отдельной панели (фиг. 34).

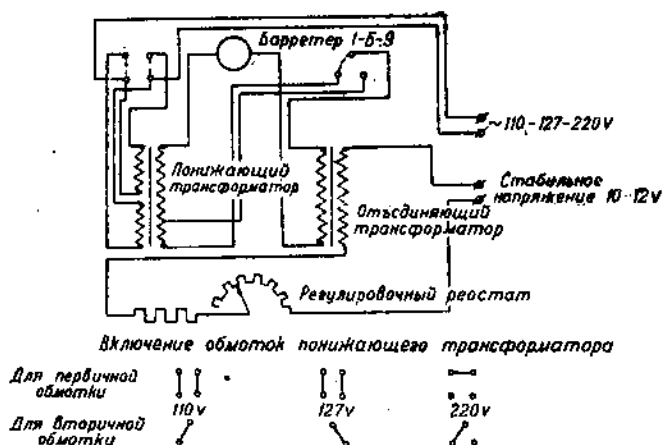
На той же панели имеются контрольные сопротивления R_k (4027Ω), служащие для замещения отдель-

ных датчиков в случае отключения последних, а также при проверке напряжения. Чтобы отключить датчик и присоединить контрольное сопротивление, достаточно соединить

перемычкой клемму 4 с клеммой 2, вместо клеммы 1.
 Питательное устройство для солемеров ЦКТИ (фиг. 35) предусматривает питание измерительного моста от сети



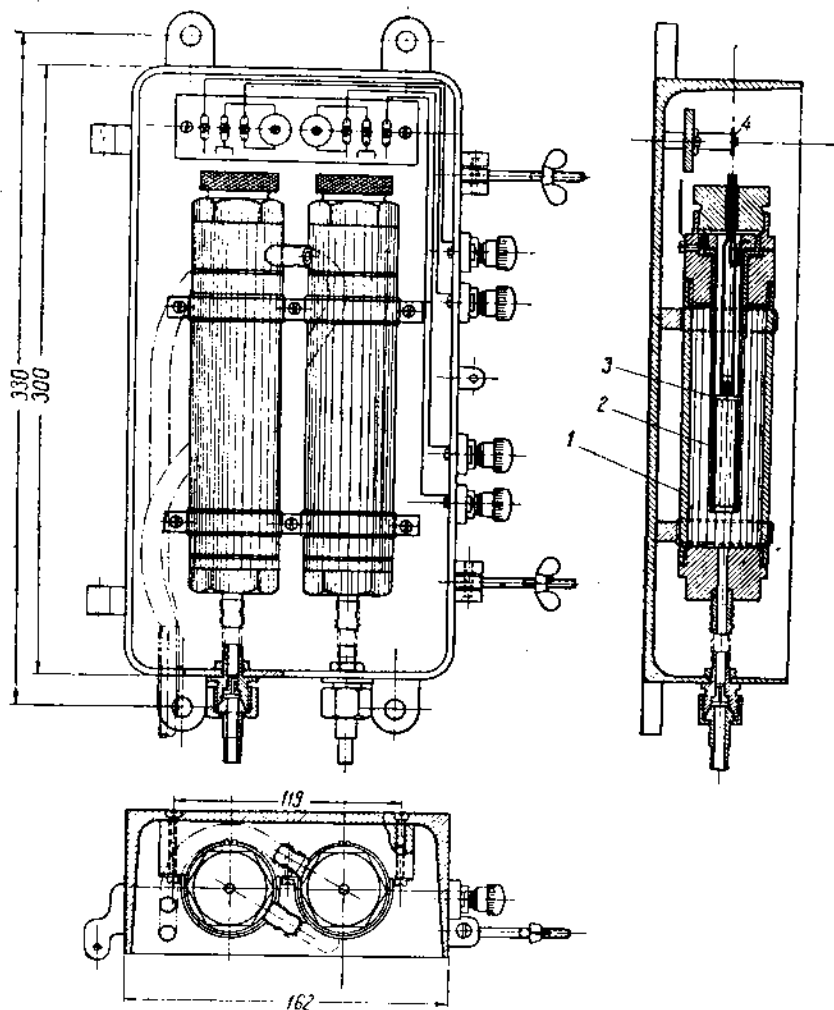
Фиг. 34. Панель с уравнительными и контрольными сопротивлениями ЦКТИ.



Фиг. 35. Схема питательного устройства солемера ЦКТИ со стабилизатором напряжения.

переменного тока 110, 127 и 220 V. Оно состоит из двух трансформаторов, стабилизатора напряжения и регулировочного реостата, последним производят точное регулирование напряжения, подводимого к измерительному мостику.

Конструкция датчика, состоящего из двух металлических электролитных сосудов, изображена на фиг. 36. Метал-

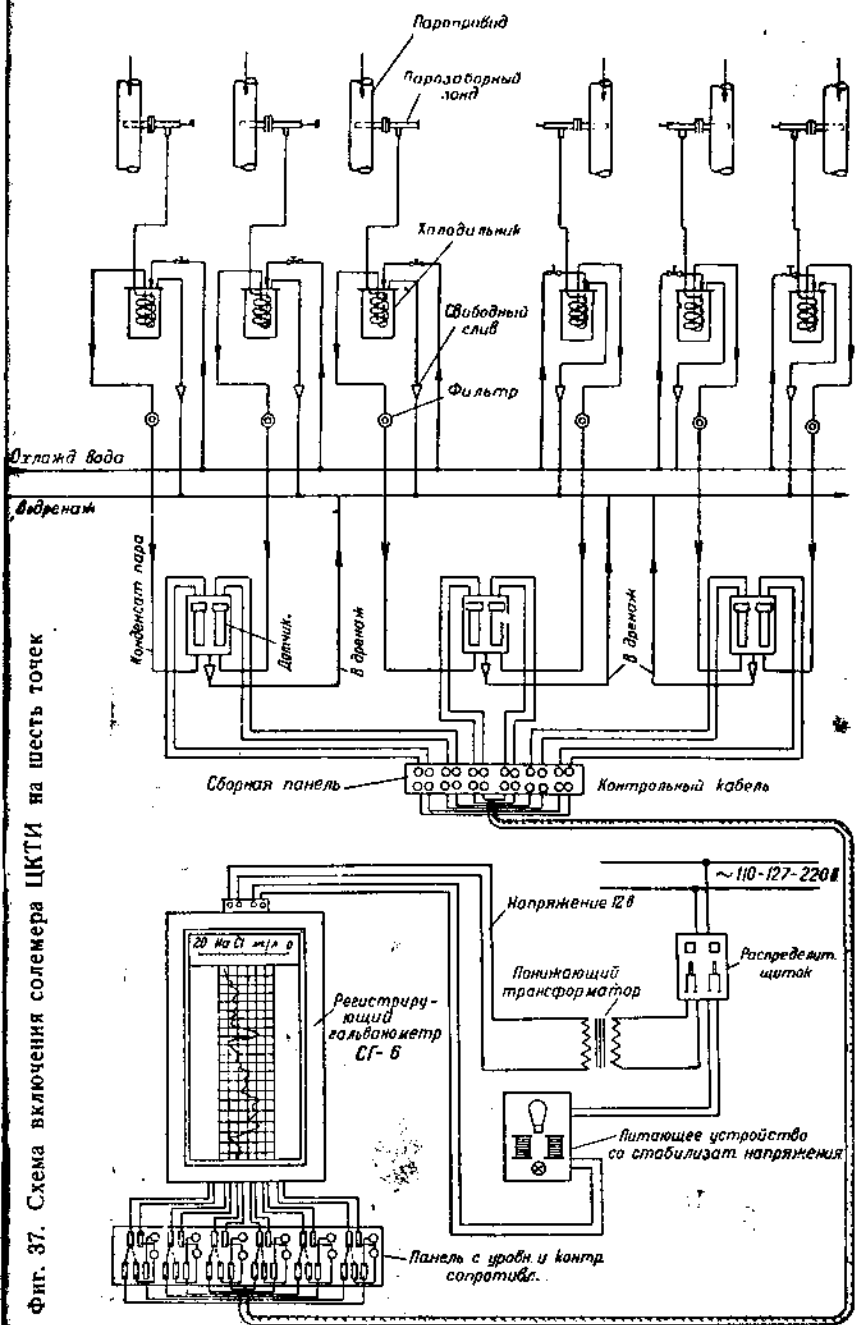


Фиг. 36. Датчик солемера ЦКТИ на две точки.

1 — наружный металлический цилиндр (одновременно является электродом); 2 — гильза-электрод; 3 — медный термометр сопротивления R_{θ} ; 4 — марганцевое сопротивление R^{θ} .

лические стенки сосуда служат одновременно электродом; вторым же электродом является вставленная в него металлическая гильза, в которой помещается медное сопро-

Фиг. 37. Схема включения солемера ЦКТИ на шесть точек



тивление R_3 . Гильза от корпуса сосуда электрически изолирована эбонитовой втулкой и резиновыми уплотнениями.

Исследуемый конденсат поступает в сосуд через нижний ниппель, соединенный с сосудом посредством резиновой трубки, а выходит через верхний штуцер сбоку сосуда и с помощью резиновой трубки отводится в дренаж; на

чертеже резиновые трубки показаны пунктиром. Нормальное количество конденсата, протекающего через каждый сосуд датчика, составляет около 15 л/час.

Схема включения шести электролитных сосудов, заключенных в трех датчиках, и шеститочечного регистрирующего прибора приведена на фиг. 37.

Раньше, до выпуска солемеров с цельнометаллическими сосудами, ЦКТИ изготовлял электролитные сосуды из стекла, конструктивно отличающиеся от описанных выше. Схема такого датчика на две точки показана на фиг. 38.

Как видно из схемы, контролируемый конденсат поступает через нижний штуцер в центральный канал, проходит по нему, омывая гильзу термометра сопротивления, после чего попадает в кольцевую камеру с расположенными в ней электродами и выходит через нижний боковой штуцер в дренаж.

Фиг. 38. Датчик солемера ЦКТИ на две точки со стеклянными сосудами.

Каждый сосуд имеет самостоятельный измерительный мостик. Регистрация показаний производится регистрирующим гальванометром того же типа СГ6¹.

Солемер со стеклянными сосудами в 1937 г. был испытан водной лабораторией ВТИ в лабораторных и эксплуатационных условиях.

¹ Подробное описание данной конструкции дано инж. А. А. Мостофиним в журнале «Советское котлотурбостроение» № 2 за 1937 г.

Ввиду наличия незначительных постоянных токов, возникающих из-за отсутствия возможности подбора купроксных выпрямителей с совершенно одинаковой характеристикой, в сосудах солемера в некоторой степени имеются явления электролиза. Эти явления особенно заметны при отсутствии протока электролита через сосуд, что имело место при лабораторных испытаниях. Поэтому для лабораторных целей солемер ЦКТИ оказался непригодным. Эксплуатационные испытания показали, что погрешность показаний солемера ЦКТИ не превышает $\pm 0,6 \text{ мг/л}$ в рабочих пределах шкалы.

Ниже, при описании солемера, изготовленного ЦЛЭММ, приведены данные о сравнительных испытаниях и по прибору ЦКТИ.

Наряду с многими положительными качествами солемера ЦКТИ (достаточная для эксплуатационных целей точность, наличие температурной компенсации, взаимозаменяемость датчиков и т. п.) имеются и недостатки. К недостаткам этого прибора нужно отнести следующие:

1. Необходимо считаться с тем, что при концентрациях электролита, более высоких чем максимальное значение шкалы (20 мг/л), может возникнуть так называемое опрокидывание показаний прибора, т. е. движения стрелки в обратном направлении. Это явление, повидимому, следует отнести к причине самосогревания термометра сопротивления R_t (фиг. 33) вследствие несоблюдения в приборе, при повышенных концентрациях электролита, лимита силы тока, предъявляемого данными термометрами сопротивления,

2. Относительная сложность коммутации соединительных проводов в самом датчике, что делает затруднительной разборку электродного сосуда.

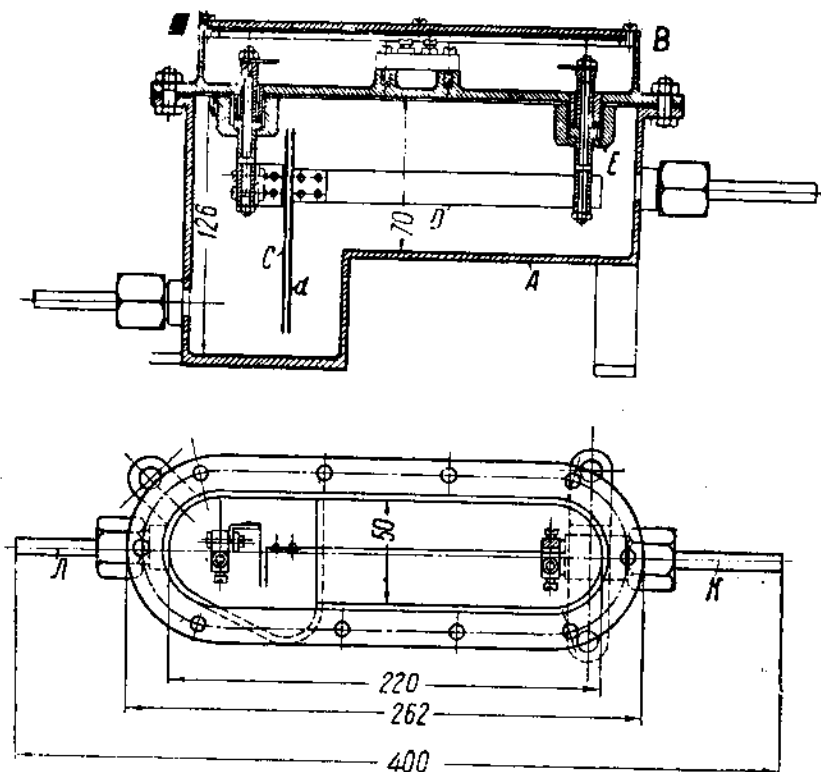
Эти недостатки, требующие устранения, тем не менее не обесценивают солемер ЦКТИ, являющийся в настоящее время наиболее распространенным на электростанциях СССР и допускающий проведение контроля качества пара с достаточной точностью при внимательном обслуживании прибора.

В настоящее время ЦКТИ принимает меры к устранению обнаруженных в приборе недостатков.

Солемер ЦЛЭММ системы ПШ. Солемеры системы ПШ, изготавливаемые ЦЛЭММ, как уже отмечалось выше, отличаются оригинальным методом температурной компенсации, которая осуществляется самыми электродами.

Отличительной особенностью температурной компенса-

ции прибора ПШ является простота ее и возможность применения любой измерительной системы. На фиг. 39 дан чертеж датчика. Он состоит из сосуда *A* емкостью 0,9 л и крышки *B*, на которой крепятся два проходных фарфоровых изолятора *E* с электродами *C* и *D*.



Фиг. 39. Датчик солемера ЦЛЭММ системы ПШ.

A — сосуд емкостью 0,9 л; *B* — крышка; *E* — фарфоровый изолятор; *C* — электрод из нержавеющей стали; *D* — электрод с пластинкой из биметалла; *d* — рабочая часть электрода *D* из нержавеющей стали; *K* — нижний штуцер; *L* — верхний штуцер.

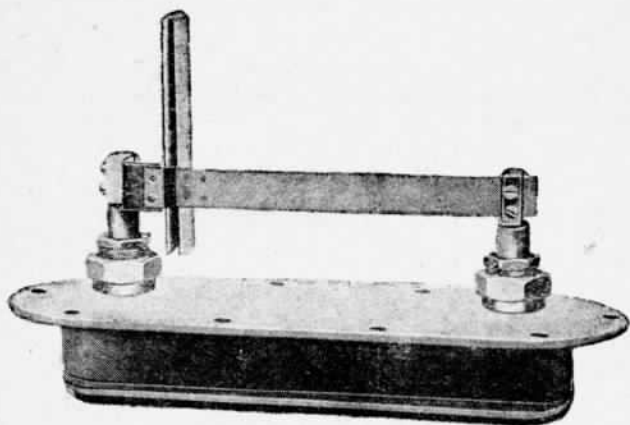
Электрод *C* изготовлен из нержавеющей стали, а электрод *D* — из термического биметалла (инвар-немагнитная сталь) с прикрепленной к нему пластинкой *d* из нержавеющей стали, являющейся рабочей частью электрода. Конденсат поступает в датчик через нижний штуцер *K* и выходит через верхний штуцер *L*.

Таким образом конденсат перед поступлением в между-

электродное пространство предварительно омывает биметаллическую пластинку и подготавливает температурную компенсацию к моменту анализа.

Общий вид крышки датчика с смонтированными на ней электродами представлен на фиг. 40.

Первые экземпляры выпущенных ЦЛЭММ солемеров имеют существенный недостаток, а именно, чтобы избежать запаздывания в показаниях, был уменьшен объем дат-



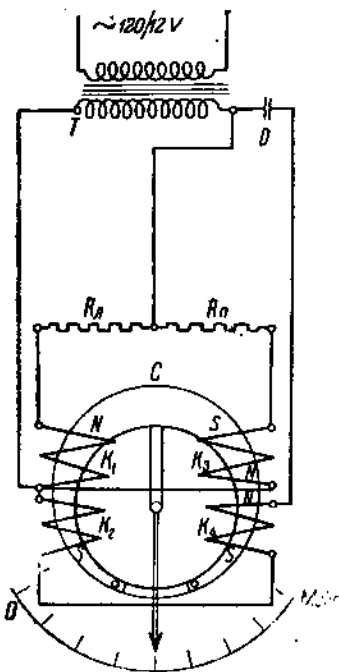
Фиг. 40. Крышка с электродами солемера ЦЛЭММ системы ПШ.

чика с 5 до 0,9 л, вследствие чего металлические стенки сосуда приблизились к электродам. Усилившееся влияние стенок заставило для обеспечения температурной компенсации значительно уменьшить начальный промежуток между электродами, что понизило надежность прибора в эксплуатационных условиях. Эмалирование внутренних стенок датчика устранило вышеуказанный недостаток солемеров.

В первых образцах солемеров ПШ ЦЛЭММ использовал в качестве указывающего прибора электромагнитный логометр типа Гейгера с кольцевым эксцентричным сердечником, установленным на кернах. Измерительная схема логометра состоит из четырех катушек, попарно намотанных на два каркаса, в которые вставлен упомянутый выше кольцевой железный сердечник, вращающийся на оси. Включение катушек произведено согласно схеме фиг. 41.

Катушки возбуждения K_1 и K_3 присоединяются к вторичной обмотке понизительного трансформатора. Магнит-

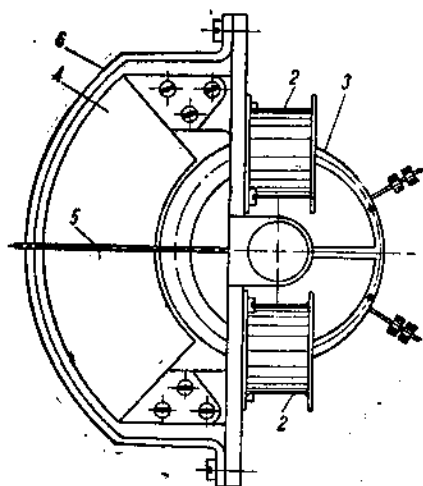
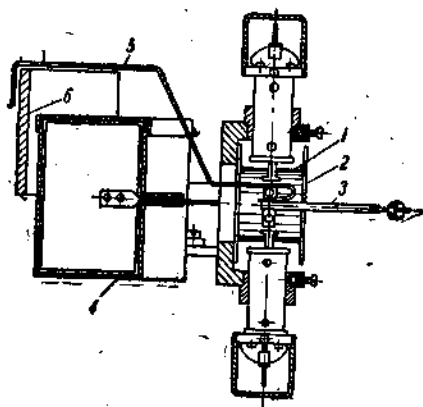
ное поле этих катушек регулируется сопротивлениями R_2 и R_4 таким образом, что при разорванной цепи катушек K_2 и K_4 , т. е. при отключенном датчике, стрелка прибора становится в нулевое положение. Поля катушек K_2 и K_4 , включенных последовательно с датчиком и между собой,



Фиг. 41. Принципиальная схема солемера ЦЛЭММ системы ПШ.

D — датчик; R_2 и R_4 — регулировочные сопротивления; K_1 , K_2 , K_3 и K_4 — катушки; C — железный плоский кольцевой сердечник; T — понижающий трансформатор.

ориентированы так, что поле катушки K_2 складывается с полем катушки K_1 , а поле катушки K_4 вычитается из поля катушки K_3 . При появлении тока в цепи датчика в левой части системы поле усиливается, а в правой ослаб-



Фиг. 42. Общий вид подвижной системы на подвесках электромагнитного логометра ВТИ.

1 — подвесы (растяжки); 2 — катушки; 3 — железный плоский кольцевой сердечник; 4 — демпфер; 5 — стрелка; 6 — шкала.

ляется. Вследствие этого наибольшая масса железного сердечника втягивается в левую пару катушек, и стрелка прибора перемещается от нуля к соответствующим делениям шкалы. Указанный электромагнитный логометр имеет тяжелую подвижную систему и поэтому оказался мало надежным, что и устранило возможность его использования в качестве измерителя в регистрирующем приборе.

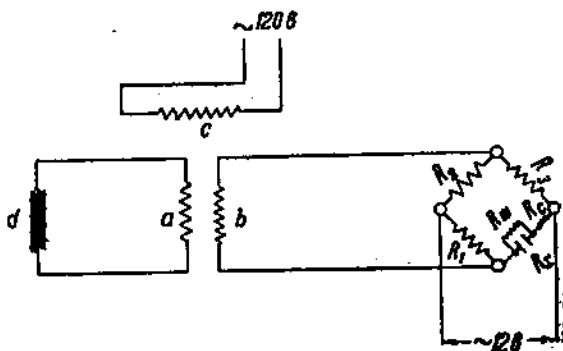
При последующем изготовлении как регистрирующих, так и указывающих солемеров ЦЛЭММ от применения описанных выше электромагнитных логометров отказался.

Изменения, внесенные лабораторией автоматики и теплоизмерительных приборов Всесоюзного теплотехнического института в указанный выше электромагнитный логометр, заключающиеся в замене керновой опоры на подвесную (фиг. 42), обеспечили устойчивую работу прибора. Следует полагать, что указанный логометр на подвесах может быть использован и для солемеров в качестве указывающего или регистрирующего прибора.

В настоящее время ЦЛЭММ применяет в качестве измерителя ферродинамический прибор с электромагнитным противодействующим моментом, включенный в схему мостика Уитстона (фиг. 43).

ЦЛЭММ градуирует выпускаемые солемеры в мг/л по NaCl или непосредственно по дозированным смесям конденсата с котловой водой индивидуально для разных электростанций. Изготавливаемые солемеры имеют предел измерений $0-10$ и $0-20 \text{ мг/л}$.

Проведенные в 1937 г. водной лабораторией ВТИ совместно с ЦЛЭММ испытания опытного экземпляра солемера ПШ, имевшего объем датчика в 5 л и предел изме-

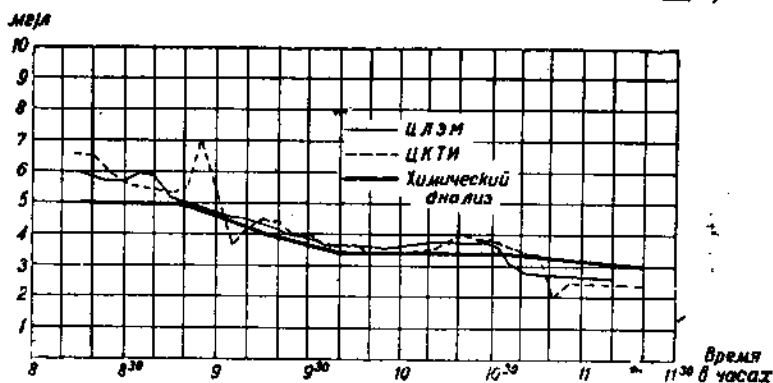


Фиг. 43. Схема солемера ЦЛЭММ системы ПШ с ферродинамическим прибором.

a и b — подвижные катушки (рамки); c — неподвижная катушка; d — дроссель; R_1 , R_2 и R_3 — постоянные сопротивления плеч мостика; R_x — сопротивление контролируемого электролита (датчик); $R_{ш}$ — параллельное сопротивление (шунт); R_c — линейное уравнительное сопротивление.

рения до 10 мг/л, определили незначительные погрешности прибора как в лабораторных, так и в эксплуатационных условиях.

Отклонения показаний прибора от весовых определений при лабораторных испытаниях не превышали $\pm 0,2$ мг/л. Испытания данного солемера в эксплуатационных условиях, произведенные на опытном прямоточном котле, установленном в ВТИ, также показали устойчивость показаний прибора при погрешностях, не превышающих $\pm 0,5$ мг/л.



Фиг. 44. График сравнительных испытаний солемеров ЦКТИ и ЦЛЭМ системы ПЩ.

Как уже отмечалось выше, все данные испытаний относятся к опытному образцу солемера с датчиком емкостью 5 л, которая была выбрана для удобства проведения экспериментальных работ с разными типами электродов.

Изготавливаемые ЦЛЭММ в настоящее время солемеры с датчиком емкостью 0,9 л дают погрешность в эксплуатационных условиях в пределах $\pm 0,6$ мг/л при колебаниях температуры конденсата в интервале 25—50°. Сравнительные испытания солемеров ЦКТИ и ЦЛЭММ, проведенные в 1937 г. водной лабораторией ВТИ показали, что указанные приборы работают с достаточной для эксплуатационных целей точностью.

На фиг. 44 приведены графики сравнительных испытаний этих приборов. На этой же фигуре нанесен сплошной линией график плотного остатка, определенного весовым методом. Рядом с графиками нанесены температуры конденсата, поступающего в датчик соответствующего солемера. Из графиков видно, что у обоих типов приборов

температурная компенсация также осуществляется в достаточной мере точно, и хотя у прибора ЦКТИ имеется некоторое запаздывание выполнения температурной компенсации, тем не менее он отвечает эксплуатационным требованиям.

Следует отметить, что график показаний солемера ЦЛЭММ на фиг. 44 перемещен по времени на 20 мин., соответственно времени запаздывания показаний прибора, вследствие применения в опытном приборе подвергавшегося испытанию электролитного сосуда (датчика) с большим объемом (около 5 л).

6. УСТАНОВКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СОЛЕМЕРОВ

Точность измерения содержания солей в паре солемерами в большой степени зависит от правильного отбора средней пробы, а также от соблюдения ряда условий при монтаже и эксплуатации солемеров.

Отбор пробы пара. Насыщенный пар, поступающий в перегреватель из барабана или сухопарника котла, содержит некоторое количество влаги, являющейся взвешенными в паре капельками котловой воды.

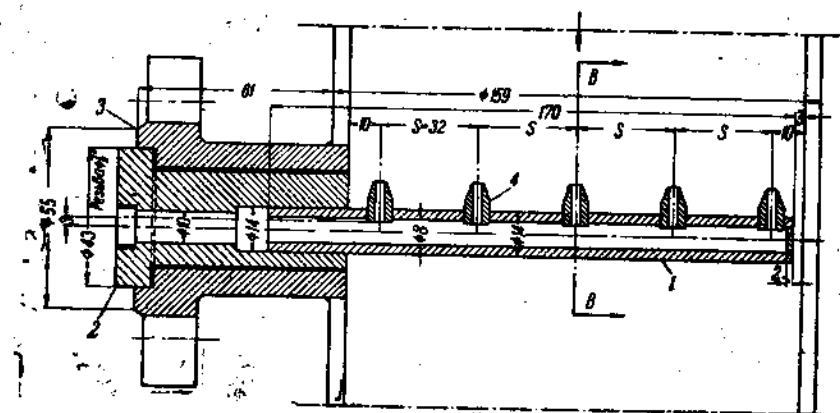
Скорость и влажность пара, протекающего в паропроводах, неравномерны в различных точках сечения. В середине струи скорость пара выше чем на периферии; влажность же, наоборот, больше на периферии.

В горизонтальном паропроводе большее количество влаги, а следовательно, и солей содержится в паре, протекающем в нижней части сечения трубы. Вследствие вышесказанного проба пара, отобранная из одной точки сечения паропровода, совершенно не соответствует средней пробе.

Применяемые в настоящее время пароотборные устройства (пароотборные зонды) допускают отбор пара одновременно из нескольких точек сечения паропровода.

На фиг. 45 и 46 приведены чертежи двух рекомендуемых ОРГРЭС типов пароотборных зондов: нормального многососкового ЦКТИ и шелевого. Оба зонда вставляются в специальные штуцеры, приваренные к трубопроводу, и соединяются с вентилями посредством фланца штуцера (фиг. 48). Как соски, так и щели зондов устанавливаются отверстиями навстречу потоку пара.

Многососковый зонд ЦКТИ рассчитывается на равенство скоростей пара в трубопроводе и в устье сосков

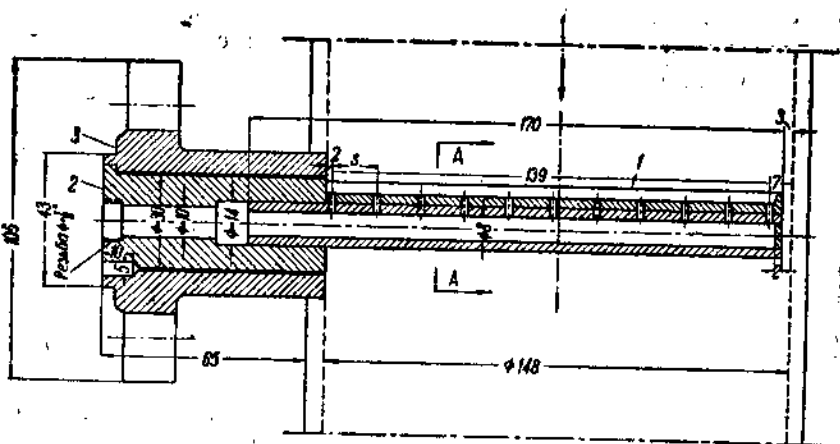


Фиг. 45. Многососковый зонд для отбора проб пара типа ЦКТИ.

1 — трубка; 2 — втулка; 3 — фланец; 4 — сосок.



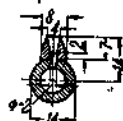
Разрез по В-В



Фиг. 46. Щелевой зонд для отбора проб пара.

1 — трубка; 2 — втулка; 3 — фланец.

Разрез по А-А



зонда; отбор же пара щелевыми зондами производится со скоростью входа в щель, меньшей скорости пара в трубопроводе.

Второй тип пароотборного устройства более чувствителен к повышению влагосодержания и дает ухудшенную пробу. Исходя из последнего обстоятельства, для эксплуатационных приборов считают целесообразным отбор пробы пара производить щелевыми пароотборными зондами; они дают возможность более надежно фиксировать так называемые плевки или броски, вызывающие резкое ухудшение качества пара, при критической нагрузке котла или отдельных его элементов и по причине пенообразования, вскипания в барабане и т. п.

Сосковые зонды употребляются при испытаниях, а также в тех случаях, когда по конфигурации паропровода пароотборное устройство можно установить только в восходящем потоке пара, не позволяющем применения щелевого зонда и искажающем результаты измерения.

Решением последней конференции (13—17 апреля 1938 г.) Главэнерго по пароперегревателям и сепарации пара установлена необходимость наряду с эксплуатационными щелевыми пароотборными зондами предусматривать сосковые зонды для целей испытаний. Однако следует отметить, что детального исследования обоих типов зондов не проводилось, и все указания о преимуществе одного типа перед другим даны на основании отдельных наблюдений.

Выше указывалось, что многососковый зонд рассчитывается на равенство скоростей в трубопроводе и в устье сосков.

Если w — скорость пара в паропроводе, по условию принятая равной скорости в пароотборной трубке, то

$$\frac{G_{отб}}{n \cdot f_{сос}} = \frac{D_{пар}}{f_{пар}}, \quad (48)$$

где $G_{отб}$ — максимальное количество отбираемого пара через зонд в кг/час;

$D_{пар}$ — максимальный расход пара через сечение паропровода в месте отбора пробы в кг/час;

$f_{сос}$ — входное сечение соска пароотборного зонда в мм²;

$f_{пар}$ — сечение паропровода в месте отбора пробы в мм²;

n — число сосков.

Заменяя значение сечения входного отверстия сосков и паропровода через диаметры таковых, получаем

$$\frac{G_{отб}}{n \cdot d_{сос}^2} = \frac{D_{пар}}{d_{пар}^2}; \quad d_{сос} = d_{пар} \sqrt{\frac{G_{отб}}{n \cdot D_{пар}}}. \quad (49)$$

Данная зависимость выведена из предположения, что скорость пара в точке отбора равна средней скорости пара в паропроводе.

Диаметр отверстия соска берется в пределах 3—5 мм. Зная количество отбираемого пара, определяют по формуле (49) количество сосков зонда. Количество отбираемого пара для эксплуатационных солемеров составляет около 15—20 кг/час.

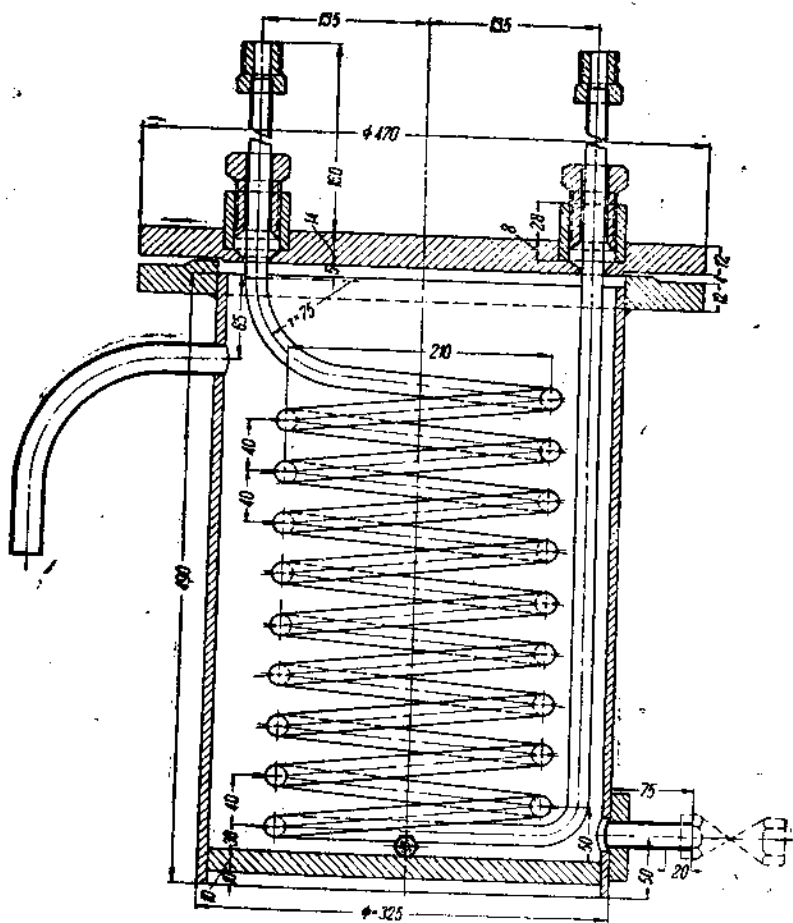
Пароотборный зонд, как правило, следует устанавливать на прямом вертикальном участке паропровода с нисходящим потоком пара. Нужно избегать установки зонда вблизи различных местных сопротивлений (вентили, переходы, повороты и т. п.). Отбор пара на горизонтальных участках паропровода является нежелательным, так как искажает состав пробы вследствие сепарации влаги. Если не представляется возможным избежать установки пароотборного зонда на горизонтальном участке, рекомендуется установить его ближе к вентилю или задвижке с расположением зонда вертикально.

Монтаж и эксплуатация солемеров. Перед поступлением в датчик солемера пар, отобранный через зонд, должен быть конденсирован и охлажден до 20—40 и не выше 50°. Указанный температурный предел определяется компенсирующей способностью и конструктивными особенностями принятых в эксплуатации солемеров. Для конденсации пара и охлаждения конденсата применяют холодильники с поверхностью охлаждения около 0,3 м².

Типовой чертеж (ОРГРЭС) вертикального холодильника со змеевиком из красномедных трубок приведен на фиг. 47. Поверхность трубок змеевика холодильника рассчитана на охлаждение 50—60 кг/час пара, так как в принятых схемах контроля качества насыщенного пара предусматривается установка солемеров последовательно с калориметрами, через которые при испытаниях необходимо пропускать около 50 кг/час пара.

Ввиду того что при охлаждении сырой водой на наружной поверхности змеевиков холодильника осаждается большое количество накипи, требуется периодическая промывка холодильника 2%-ным раствором соляной кислоты. В холодильнике предусмотрена возможность промывки трубок змеевика, а также удаление его из корпуса холодильника для механической очистки от накипи. Змеевики холодильника и трубки, подводящие конденсат от холодильника к датчику солемера, следует применять из коррозионноустойчивых металлов (красная медь, нержавеющая сталь).

Пароотборный зонд соединяется с холодильником цельнотянутыми трубками. Трубки от пароотборного зонда до холодильника укладывают с уклоном не менее 1:10 в сторону холодильника. Рекомендуется для этой цели выбирать

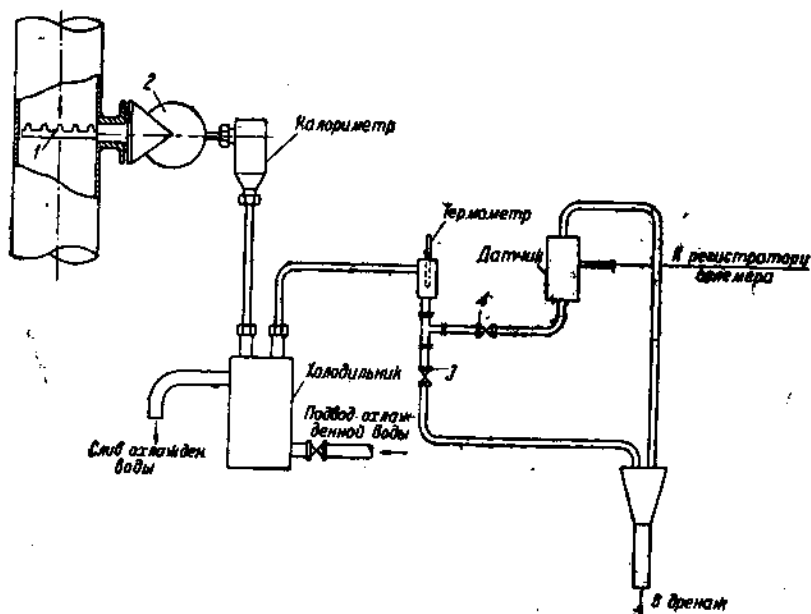


Фиг. 47. Типовой вертикальный холодильник Оргрэса.

трубки с внутренним диаметром 10 мм и длиной не более 50 м. Для соединения холодильника с датчиком применяют трубки с внутренним диаметром 8 мм и длиной не более 3 м.

В целях уменьшения расхода пара и возможности со-

поставления двух видов контроля качества насыщенного пара (по влажности и солесодержанию) обычно ставят последовательно дроссельный калориметр и датчик солемера с отбором проб пара от одного пароотборного зонда.



Фиг. 48. Схема установки солемера последовательно с дроссельным калориметром.

1 — многосекционный зонд; 2 — вентиль; 3 и 4 — вентили.

На фиг. 48 приведена схема установки солемера последовательно с дроссельным калориметром.

Вентиль 3 имеет следующее назначение:

1. При включении необходимо предварительно установить допустимую температуру конденсата, поэтому в начальный период конденсат направляется через вентиль 3 в обход солемера, вентиль 4 закрыт. Температура конденсата контролируется по ртутному термометру.

2. В целях уменьшения погрешности показаний калориметра, при испытаниях количество отбираемого пара доводят до 50 кг/час , а так как через солемер нужно пропускать около 20 кг/час , то остальное количество пара отводится через вентиль 3.

Типовые схемы контроля качества пара, составленные ОРГРЭС¹, предусматривают непрерывный контроль по двум точкам на насыщенном паре котла и периодический контроль по одной точке на перегретом паре. При поверхностных пароохладителях контроль качества перегретого пара необходимо производить в двух точках: до и после пароохладителя, в целях наблюдения за плотностью последнего.

Датчики солемеров следует устанавливать по возможности в местах с постоянной температурой окружающего воздуха — не более 40°. Перед датчиками устанавливаются сетчатые фильтры с отверстиями не более $0,2 \times 0,2$ мм. Во избежание попадания пара или горячего конденсата в датчики солемеров (при отсутствии постоянного напора охлаждающей воды) следует установить промежуточный напорный бак с запасом охлаждающей воды не менее чем на 1 час. При установке датчиков, фильтров, холодильников и парозаборных зондов нужно предусмотреть возможность постоянного доступа к ним. Датчики солемеров соединяются с регистратором кабелем марки КСБ с сечением жил не менее $1,5 \text{ мм}^2$.

Для удобства коммутации (при наличии в установке нескольких датчиков) соединительные провода от отдельных датчиков соединяются со сборной панелью двух- или четырехжильным кабелем в зависимости от количества электролитных сосудов в одном датчике. От сборной панели к панели с уравнительными и контрольными сопротивлениями прокладывают контрольный кабель суммарной жилности (при 6-точечном регистраторе — 12-жильным) с сечением жил не менее $1,5 \text{ мм}^2$.

Панель устанавливают обычно в помещении котельной вблизи датчиков; она должна быть защищена от попадания влаги и пыли. Панель с уравнительными и контрольными катушками помещают вблизи регистратора за тепловым щитом.

Питательное устройство солемера ЦКТИ со стабилизатором напряжения устанавливают рядом с регистратором для удобства подгонки напряжения на измерительном мостике, так как при этой операции необходимо следить за положением стрелки прибора.

Ниже приводятся инструктивные указания по регулиро-

¹ Приняты за основу конференцией Главэнерго по пароперегревателям и сепарации пара (13—17 апреля 1938 г.).

ванию, эксплуатации и включению в работу промышленных солемеров, изготавливаемых в СССР.

Данные указания в основном относятся к солемерам ЦКТИ¹, а для солемеров ЦЛЭММ системы ПШ даются только в той части, где регулирование и эксплуатация последних отличаются от соответствующих операций по солемерам ЦКТИ.

Перед включением солемера в работу необходимо провести следующие операции:

1. Проверить правильность схемы соединений как в механической, так и в электрической частях. Одновременно проверяется состояние изоляции соединительных проводов. Эта операция производится при включении приборов после монтажа или при плановых ревизиях, которые следует производить один раз в 3—4 месяца.

2. Подогнать внешнее сопротивление соединительных линий между клеммами каждого датчика и регистратором до 5 Ω путем сматывания с уравнильных (5 Ω) катушек сопротивления, равного измеренному (с точностью до 0,1 Ω) сопротивлению соединительных проводов.

3. Просмотреть все движущиеся детали и рычаги регистратора и освободить их от креплений, которыми они были скреплены для транспортирования прибора.

4. Разарретировать рамку измерительного прибора и бугель регистратора путем поворота соответствующих рычажков.

5. Установить стрелку гальванометра при полном отключении прибора от сети питания на нуль, которым для солемера ЦКТИ является деление шкалы, равное 20 $мг/л$.

Эта установка на нуль производится поворотом рычажка корректора, расположенного в верхней части гальванометра.

6. Установить необходимое напряжение, подаваемое к измерительному мостику, следующим образом:

а) отсоединить провода от одного из датчиков на панели с уравнильными и контрольными сопротивлениями;

б) вместо отсоединенного датчика присоединить катушку R_k с контрольным сопротивлением (4027 Ω), для чего замыкают клемму 4 перемычкой с клеммой 2, сняв перемычку с клеммы 1 (фиг. 34);

в) установить переключатель регистратора на точку, к которой подключено контрольное сопротивление, что осуществляется поворотом кулачковой шайбы до появления

¹ При составлении учтены инструктивные указания ЦКТИ.

на нумераторе порядковой цифры, соответствующей номеру точки замера;

г) включить питательное устройство со стабилизатором напряжения и дать установке прогреться в течение 10 минут;

д) поворотом движка реостата питательного устройства устанавливают стрелку гальванометра на деление шкалы 0 мг/л; этим достигается регулирование напряжения, подаваемого к измерительному мостику.

7. Включить отрегулированную точку замера в рабочее положение, для чего, соединив перемычкой клеммы 4 и 1 (сняв перемычку с клеммы 4 и 2), присоединить соответствующий датчик.

8. Поочередно включить все остальные точки замера; при этом стрелка гальванометра при температуре датчика 20° должна быть точно над нулевым делением шкалы. При температуре датчика выше 20° стрелка немного уходит за нуль, а при температуре датчика ниже 20° она соответственно не доходит до нуля.

Если стрелка с силой ударяется об упор в начале шкалы (0 мг/л), то имеет место обрыв проводов или цепи датчика; в случае короткого замыкания проводов стрелка ударяется об упор левой стороны шкалы.

9. Подать питание на моторчик Уоррена, выполняющего функцию часового механизма.

10. Пустить полной струей воду через холодильник.

11. Открыть (постепенно) запорный вентиль парозаборного зонда.

При этом вентиль перед солемером держать закрытым, а образующийся конденсат направить непосредственно в слив через вентиль 3 (фиг. 48). Вентилем парозаборного зонда установить расход конденсата в пределах 15 л/час¹. Отрегулировать температуру конденсата в пределах 20—50° путем изменения количества охлаждающей воды, поступающей в холодильник. Далее закрыть вентиль 3 и через вентиль 4 направить конденсат в датчик.

В солемере ЦЛЭММ имеются особенности, связанные с проверкой и регулированием температурной компенсации. Проверка и регулирование температурной компенсации осуществляются в этом солемере следующим образом. Заливают в датчик (отсоединенный от подводящих трубок) конденсат с содержанием, соответствующим средней части шкалы.

¹ При отборе пробы пара через калориметр количество конденсата, протекающего через датчик солемера, устанавливают открытием вентилей 4 (фиг. 48).

При прогреве конденсата в пределах 20—50° показания прибора не должны изменяться. Если при увеличении температуры конденсата показания прибора увеличиваются, а следовательно имеет место недокомпенсация, то необходимо вскрыть датчик и уменьшить промежуток между электродами и тем самым увеличить длину компенсирующей биметаллической пластинки передвижением ее в зажимной колодке.

Если, наоборот, при увеличении температуры конденсата показания прибора уменьшаются, то имеет место перекомпенсация и междуэлектродный промежуток надо увеличить, сократив одновременно длину компенсирующей биметаллической пластинки.

Эти операции необходимо производить до тех пор, пока не будет достигнута полная компенсация (в пределах $\pm 0,1$ мг/л), т. е. когда при изменении температуры конденсата в датчике показания прибора не меняются.

При эксплуатации солемеров необходимо соблюдение следующих основных правил:

1. Контролировать наличие потока конденсата через датчик солемера и не допускать отклонения температуры конденсата от тех пределов, на которые рассчитана наилучшая температурная компенсация для данного типа солемеров (обычно в пределах 20—50°). При этом следует иметь в виду, что у солемеров ЦЛЭММ при повышении температуры выше 50° и понижении ниже 20° подвижный электрод настолько приближается к стенке датчика, что делает невозможным работу прибора.

Солемер ЦКТИ, в котором для изоляции среднего электрода применены эбонитовая втулка и резиновые прокладки, также не допускает повышения температуры конденсата более вышеуказанного предела.

2. Периодически промывать и очищать от накипи наружные поверхности змеевиков холодильника.

3. В период остановок котлов осматривать и в случае необходимости производить чистку пароотборного зонда.

4. Регулярно в сроки, зависящие от качества пара, промывать датчик солемера. Чистку электродов датчика рекомендуется производить слабым (0,1 N) раствором соляной кислоты, обтирая поверхности электродов ваткой, смоченной в этом растворе, и затем промыть датчик конденсатом.

5. При обнаружении неправильности работы отдельных датчиков солемеров ЦКТИ (когда сопротивление их без заполнения конденсатом не соответствует 4031 Ω при 20°), таковые подлежат разборке. Для этой цели отпаивают

проводнички, присоединенные к медному сопротивлению и внутреннему электроду, снимают с ниппеля резиновую трубку и вывинчивают нижнее донышко и верхнюю прижимную гайку из сосуда, следя за тем, чтобы не скрутить проводники. Затем, вынув верхнюю резиновую прокладку, удаляют гильзу, эбонитовую втулку и нижнюю резиновую прокладку. Помещенное внутри гильзы медное сопротивление вынимают и просушивают; также просушивают или сменяют прокладки, протирают все детали датчика и внутреннюю поверхность гильзы.

После сборки соединения датчика проверяют на плотность гидравлическим давлением до 2 ат. Кроме того, проверяют электрическую изоляцию между корпусом и гильзой, а также гильзой и медным сопротивлением. Как указывалось выше, медное сопротивление при 20° должно быть равно 1984 Ω .

6. Обслуживание кинематической части регистратора ведется согласно инструкции для стандартных регистрирующих гальванометров завода № 218 типа СГ6.

7. Регулярно один раз в 2—3 месяца проводить проверку показаний солемера по составленным растворам NaCl в чистом конденсате. Для этого в исходный конденсат (с небольшим солесодержанием) добавляют 0,1%-ный раствор NaCl. Добавление 1 см³ этого раствора на 1 л конденсата соответствует повышению солесодержания по NaCl на 1 мг/л. Составив таким образом ряд растворов, производят проверку показаний солемера.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
1. Введение	3
2. Физико-химические основы метода измерения электропроводности растворов	5
3. Измерение электропроводности растворов мостиком Уитстона	15
4. Компенсация влияния температуры электролита на показания солемера	19
5. Промышленные типы солемеров	31
Солемер фирмы Лидс и Нортруп	32
Солемеры фирмы Сименс и Гальске	33
Солемер фирмы Вестгоф	37
Солемер системы УИПЭ	40
Солемер системы ЦКТИ	40
Солемер ЦЛЭММ системы ПШ	47
6. Установка и эксплуатация солемеров	53
Отбор пробы пара	—
Монтаж и эксплуатация солемеров	56



Цена 80 коп.

ЭТ-20-5-3

-303003-

Депозитарий

HLST



0000000028294

1938