

конкретных объектах не является неразрешимой, особенно, если простейшие механические испытания на разрыв и удлинение дополнить новейшими методами механических испытаний — динамическими испытаниями отдельных образцов и целых деталей и узлов и провести это на большем, чем в данном исследовании, количестве образцов.

Выводы

1. Классификация дефектов позволила

сварщикам изучить основные дефекты и наметить пути к их устранению.

2. Шкала рентгеновского контроля вносит значительную объективность в оценку качества сварки, а иногда и устраняет возможность злоупотреблений в вопросах контроля и позволяет также, хотя и весьма приближенно, основываться на данных механических испытаний, привычных и понятных каждому производственному.

Получена 1/IX 1937

Г. М. Вайнштейн

Определение удельной электропроводности речной воды по внутреннему сопротивлению гальванического элемента

(Рублевская насосная станция)

Величина удельной электропроводности речной воды характеризует концентрацию ее солевого состава. В период весеннего паводка, когда в русло реки вливаются потоки талой воды, происходит понижение концентрации солей и резкое уменьшение удельной электропроводности. Поэтому по изменению величины электропроводности можно установить начало паводка и наблюдать его ход.

В лаборатории Рублевской насосной станции были произведены при помощи прибора Кольрауша наблюдения за изменением величины удельной электропроводности речной воды в периоды весенних паводков 1935 и 1936 г., в связи с изменением щелочности речной воды (1). В дальнейшем прибор Кольрауша был установлен в диспетчерской, а сосудик с платиновыми электродами был помещен в проточную речную воду, протекающую в камере труб на расстоянии 170 м от диспетчерской. Используя провода, служащие для дистанционных фотоэлектрических определений (2), представилась возможность производить измерения электропроводности речной воды прибором Кольрауша на расстоянии.

Однако определения электропроводности прибором Кольрауша в производственных условиях нельзя признать удобными. Нахождение движком положения на линейке, соответствующего минимальной силе звука в телефоне, встречает затруднения, особенно в пик паводка, когда удельная электропроводность имеет наименьшее значение. Для целей диспетчеризации контроля имеет значительное преимущество визуальные определения.

В ряде исследовательских работ (3, 4, 5) переход к визуальным определениям электропроводности осуществляется путем введения в схему прибора Кольрауша селеновых выпрямителей или путем замены телефона чувствительным гальванометром переменного тока. Следует однако отметить, что схемы (5) таких приборов усложняются, особенно в случае их приспособления для питания переменным током от сети.

Автором данной работы предлагается простейшее устройство, состоящее из обычного стрелочного гальванометра, сосуда для исследуемой жидкости и гальванического элемента (например Даниэля), позволяющее по отклонению стрелки гальванометра измерять электропроводность жидкости, налитой в сосуд или непрерывно протекающей через этот сосуд. Такой способ основан на измерении силы тока гальванического элемента, внутреннее сопротивление которого составляет, главным образом, сопротивление исследуемой жидкости.

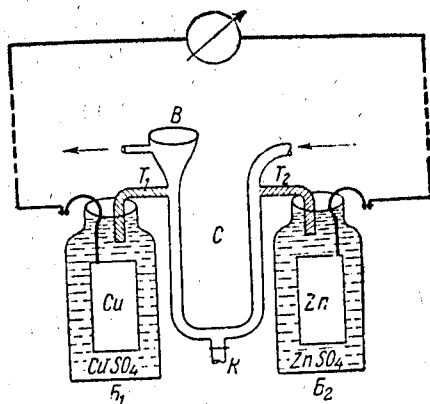
Нормальные потенциалы двух электродов, разность величин которых составляет э. д. с. ($E = e_1 - e_2$) гальванического элемента Даниэля, являются стабильными; внешнее сопротивление, состоящее из сопротивлений проводов и гальванометра — постоянно.

Следовательно сила тока, фиксируемая постоянно включенным гальванометром или самопишущим прибором, будет функцией внутреннего сопротивления гальванического элемента.

Если трубку, через которую непрерывно протекает исследуемая вода, принять за своеобразный электролитический ключ двух электродных жидкостей, то показания гальванометра будут зависеть от электропроводности исследуемой воды.

На рисунке схематично показан простейший прибор, применяемый нами для измерения электропроводности жидкости.

В банке b_1 медный электрод находится в контакте с нормальным раствором медного купороса, а в банке b_2 — цинковый — в растворе цинкового купороса. Электролитическим ключом служит стеклянный U-образный сосуд C с двумя боковыми трубками T_1 и T_2 , последние заполняются желатинированным насыщенным раствором хлористого калия. Исследуемая жидкость или наливается в сосуд C через воронку B и после измерения выливается через кран K , или может непрерывно протекать в указанном стрелками направлении.



Гальванический элемент, цепь которого представлена в виде:

$\text{Zn} | \text{ZnSO}_4 | \text{KCl} | \text{исследуемая речная вода} | \text{KCl} | \text{CuSO}_4 | \text{Cu}$,

вследствие большого сопротивления, каким является исследуемая вода, непосредственно замыкается на гальванометр G . С увеличением удельной электропроводности протекающей через сосуд C жидкости будет увеличиваться сила тока, и наоборот. Следовательно, по изменению показаний гальванометра можно судить об изменении электропроводности исследуемой жидкости.

Пользуясь известными формулами электрохимии (6), нетрудно по показанию, выраженному в делениях гальванометра, вычислить удельную электропроводность данной жидкости X . Для этого необходимо знать емкость сопротивления сосуда C и измерить сопротивление W жидкости в этом сосуде. Так как сопротивление жидкости в описанном приборе представляет собой внутреннее сопротивление гальванического элемента¹, то $W = r = \frac{E}{I} - R$.

Электродвижущая сила E элемента Даниэля измерялась компенсационным методом Потгендорфа; как и следовало ожидать, исходя из значений нормальных потенциалов (6)

$$E = e_1 - e_2 = +0,06 - (-1,04) = 1,10 \text{ в.}$$

Сила тока I представляет собой произведение показания гальванометра a на цену деления данного гальванометра d :

$I = a \cdot d$; гальванометр взят с чувствительностью d , равной $0,1 \cdot 10^{-6}$ а и с сопротивлением 2485 ом.

Емкость сопротивления сосуда может быть найдена так же, как и при определении прибором Кольрауша, по раствору с известной удельной электропроводностью X_0 . Так

¹ Здесь не принимается в расчет сопротивление электродных жидкостей и раствора хлористого калия, суммарная величина которого, сравнительно с величиной сопротивления воды, ничтожно мала.

0,01 н. раствор хлористого калия при 23° имеет (7) X_0 равную 0,001359; этот же раствор, налитый в сосуд, изображенный на рисунке, вызывает отклонение стрелки гальванометра, равное 71,5 деления, при введенном добавочном сопротивлении² Каминского в 100 658 ом, следовательно R равно 103 170 ом, а емкость сопротивления сосуда:

$$C = X_0 \cdot r_0 = X_0 \left(\frac{E}{a \cdot d} - R \right) = 0,001359 \left(\frac{1,1}{71,5 \cdot 10^{-7}} - 103170 \right) = 68,87.$$

Зная емкость сопротивления сосуда, можно, пользуясь теми же формулами, определять удельную электропроводность исследуемой жидкости по данному показанию гальванометра:

$$X = \frac{C}{r} = C \cdot \left(\frac{E}{a \cdot d} - R \right) = \frac{C \cdot a \cdot d}{E - a \cdot d \cdot R} = \frac{68,87 \cdot a \cdot 10^{-7}}{1,1 - a \cdot 10^{-7} \cdot 2485}.$$

Для проверки данной формулы были произведены параллельные определения удельной электропроводности растворов хлористого калия: по данным прибора Кольрауша и по показаниям гальванометра. В табл. 1 представлены результаты этих определений. Здесь в первом вертикальном ряду даны нормальные концентрации хлористого калия; во втором — показания гальванометра для этих растворов (a); в третьем — сопротивления, измеренные прибором Кольрауша (W) с сосудиком, емкость сопротивления которого равна 0,0518; в четвертом — вычисленное по показанию гальванометра внутреннее сопротивление элемента (r); в пятом удельная электропроводность X_1 , вычисленная по данным прибора Кольрауша, увеличенная в 10^6 раз; в шестом — удельная электропроводность X_2 , вычисленная по данным гальванометра, увеличенная в 10^6 раз; в седьмом — раз-

² Сопротивления Каминского были проверены путем включения их в цепь постоянного тока с амперметром и вольтметром.

Таблица 1

н.	a	W	r	$X_1 \cdot 10^6$	$X_2 \cdot 10^6$	$p \%$
0,0001	7,3	1020	1 504 354	50,8	45,8	-9,8
0,0005	15,4	497	711 801	104,2	96,8	-7,1
0,001	26,8	298	407 963	173,8	168,8	-2,9
0,002	48,0	169	226 682	306,5	303,8	-0,9
0,003	71,0	115	152 445	450,4	451,8	+0,3
0,004	92,3	87,5	116 692	592	590,2	-0,3
0,005	91,0	71,5	93 439	724,5	737,1	+1,7
0,01	71,5	38,1	50 676	1359	—	—

ница удельных электропроводностей, выраженная в процентах p . Для первых шести концентраций хлористого калия внешним сопротивлением являлось сопротивление гальванометра R равное 2485 ом; для двух последних концентраций пришлось вводить последовательно добавочные сопротивления в 24 955 и 100 685 ом.

Из рассмотрения таблицы видно, что только для первых двух концентраций процент несовпадения значительный, в остальных случаях вычисленные значения удельной электропроводности по показаниям гальванометра для различных концентраций весьма близки к значениям удельной электропроводности, измеренным прибором Кольерауша.

Удельная электропроводность москворецкой речной воды колеблется в пределах $60 \times 10^{-6} - 500 \times 10^{-6}$ л-1 см-1. Поэтому показания гальванометра, без введения добавочного внешнего сопротивления, при возможных изменениях удельной электропроводности речной воды, будут укладываться (см. табл. 1) в пределах шкалы гальванометра.

Размеры сосудов C , в зависимости от пределов колебания электропроводности исследуемой жидкости, могут быть выбраны путем следующего вычисления. Внутреннее сопротивление гальванического элемента, как и всякого другого электрического проводника:

$$r = W = \frac{l}{X \cdot q},$$

где l — длина сосуда,
 q — поперечное сечение.

С другой стороны:

$$r = \frac{E}{a \cdot d} - R,$$

следовательно:

$$\frac{l}{q} = \left(\frac{E}{a \cdot d} - R \right) X.$$

Если показание гальванометра в верхнем пределе удельной электропроводности желательнее иметь максимальным и равным 100, то в нашем случае:

$$\frac{l}{q} = \left(\frac{1,1}{10^{-5}} - 2485 \right) 5 \times 10^{-4} \approx 54.$$

Если диаметр трубки, из которой сделан сосуд для измерения электропроводности речной воды, равен 1 см, то длину следует взять l приблизительно равной 43 см. Само собой разумеется, что для жидкостей, имеющих большую удельную электропроводность, следует брать трубку меньшего диаметра или большей длины, и наоборот.

Так как сопротивление рассматриваемого гальванического элемента имеет большую величину (см. табл. 1), то сопротивлением проводов, даже весьма длинных, соединяющих этот элемент с гальванометром, можно пренебречь, как величиной сравнительно малой. Это обстоятельство позволяет производить визуальные определения электро-

проводности на расстояние. Недалеко от приемника речной воды был установлен элемент Даниэля, через электролитический ключ которого непрерывно циркулировала речная вода (см. рисунок). Провода от электродов были протянуты в диспетчерскую, где и присоединялись непосредственно к гальванометру. В табл. 2 выписаны из записи диспетчера суточные (12-часовые) показания гальванометра a .

Таблица 2

Число июля месяца	a	A_1	A_2	Температура речной воды
9	56	3,07	3,37	20
10	59	3,16	3,55	20
11	60	3,29	3,61	20
12	62	3,38	3,58	22
13	63	3,43	3,56	23
14	59,5	3,43	3,36	23
15	63,5	3,47	3,66	22
16	63,5	3,47	3,66	23
17	62	3,43	3,73	20
18	61	3,38	3,60	21
19	58	3,43	3,42	21
20	58	3,43	3,42	21
21	59	3,43	3,48	21
22	64	3,38	3,62	23
23	63	3,43	3,56	23
24	62	3,43	3,50	23

Эти данные сопоставлены с величинами щелочности A_1 той же речной воды, взятыми из журналов лаборатории скорых фильтров. В четвертом ряду даны вычисленные по показаниям гальванометра значения щелочности A_2 . В вышеупомянутой работе (1) было показано, что удельная электропроводность речной воды X_p , приведенная к температуре 18° (X_{18}), путем введения температурного коэффициента K_t , взятого из таблиц (8), умноженная на эмпирически найденный коэффициент пропорциональности (10^4), дает величину, весьма близкую к щелочности речной воды, выраженной в мг-экв/л:

$$A = X_{18} \cdot 10^4 = X_p \cdot K_t \cdot 10^4.$$

Формула, выведенная выше для вычисления удельной электропроводности по показанию гальванометра, может быть упрощена, если вычитаемым членом в знаменателе пренебречь, как величиной, не превышающей 0,025 (при условии, если не вводить добавочное внешнее сопротивление), и полученное частное округлить, тогда:

$$X_t = \frac{68,87 \cdot a \cdot 10^{-7}}{1,1 - a \cdot 10^{-7} \cdot 2485} = 6,3 \cdot 10^{-6} \cdot a.$$

Приведенные в табл. 2 значения A_2 были вычислены по формуле:

$$[A_2 = 0,063 \cdot a \cdot K.$$

Как видно из табл. 2, значения щелочности, вычисленные по показаниям гальванометра, во многих случаях превышают несколько значения щелочности, полученные химическим путем. Причины этого несоответствия позднее были выяснены. Оказалось, что с удалением вытекающей струи из сосуда от места ее падения и с уменьшением напора воды показания гальванометра несколько уменьшаются (на 2—4 деления), приближаясь к некоторому минимальному значению, и, если закрыть кран проточной воды, гальванометр укажет это минимальное значение. Следовательно, проточность воды вызывает повышение показаний гальванометра. Это явление может найти удовлетворяющее объяснение, если представить, что помимо внутреннего проводящего участка между отводными трубками T_1 и T_2 (см. рисунок), в случае непрерывной циркуляции воды, возникает другой проводящий ток участок: от T_1 через вытекающую струю воды — землю — заземленный кран к T_2 . Этот внешний участок является как бы параллельным внутренним проводником, уменьшающим общее внутреннее сопротивление гальванического элемента и тем самым повышающим показания гальванометра. Для устранения влияния заземления необходимо, очевидно, максимально увеличить сопротивление этого внешнего участка.

В заключение следует отметить, что в описанном приборе отсутствуют явления поляризации вследствие того, что сила тока в цепи, измеряемая гальванометром, чрезвычайно мала (10^{-6} — 10^{-5} а), а также потому, что элемент Даниэля относится к типу обратимых — неполяризующихся элементов.

Процесс же электролиза, сопровождающийся выделением меди и растворением цинка, протекает чрезвычайно медленно. Так, при максимальной силе тока (10^{-5} а) через гальванический элемент пройдет 0,864 к электричества в сутки; следовательно, в течение годичной работы элемента

концентрация медного купороса уменьшится на 0,104 г, концентрация цинкового купороса увеличится на 0,107 г. Это изменение безусловно не может играть какую-либо роль. Диффузия медного купороса к цинковому электроду здесь также невозможна, потому что они разделены желатинированными пробками. Таким образом нужно полагать, что прибор, служащий для визуального определения электропроводности жидкости, будет работать продолжительное время, не требуя никакого ухода и пополнения расходуемых материалов.

Выводы

1. Простейший прибор, состоящий из гальванического элемента, своеобразного электролитического ключа и обычного гальванометра, позволяет производить измерение электропроводности жидкости на расстоянии.

2. По показаниям гальванометра представляется возможным, путем простых вычислений, определить удельную электропроводность исследуемой жидкости.

Получена 31/VII 1937

Литература

1. Г. М. Вайнштейн, Водоснабжение и санитарная техника, 12, 47, 1936.
2. Г. М. Вайнштейн, Заводская лаборатория, 6, 206, 1937.
3. G. Jander u. O. Pfundt, Chem. Fabr., 5, 9—10, 19—20, 1932; Chem. Ztg.; 58, 611, 1934.
4. W. Muchlinsky, Chem. Fabr., 4, 462—64, 469—72, 1931.
5. R. L. Garman, Ind. Eng. Chem. Anal. Ed., 8, 146, 1936.
6. М. Леблан, Руководство по электрохимии, стр. 89 и 236, 1931.
7. Landolt—Börnstein, Phys. Chem. Tabellen, 2, 1098, 1923.
8. Г. И. Долгов, Определение удельной электропроводности воды, стр. 35, 1931.