

УДК 621.315.58

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ СТРУИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Хайруллин И.Х., Камалов Ф.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия (450000, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул.К. Маркса, д. 12) e-mail: kamalov_f@inbox.ru

Статья посвящена описанию и анализу результатов экспериментов, в ходе которых были определены электрические характеристики участка струи электропроводящей жидкости определенной длины. Приведено описание разработанной методики проведения экспериментов. Создана экспериментальная установка для исследования электрогидродинамических процессов, возникающих при протекании электрического тока в струе электропроводящей жидкости. Получены вольт-амперные характеристики участка струи электропроводящей жидкости при различных концентрациях раствора. Проведена статистическая обработка результатов экспериментов. На основе полученных опытных данных проведены аналитические расчеты сопротивления, удельного сопротивления и удельной электропроводности участка струи жидкости для каждого значения концентрации раствора при постоянной скорости истечения струи. Получено эмпирическое соотношение удельной электропроводности участка струи электропроводящей жидкости от концентрации раствора.

Ключевые слова: электрическая проводимость, электропроводящая жидкость, электрогидродинамические процессы, электрический ток.

THE DEFINITION OF CONDUCTANCE ON A JET OF ELECTROLEADING FLUID

Khayrullin I.H., Kamalov F.A.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia (450000, Republic of Bashkortostan, Ufa, ul.K. Marx, 12) e-mail: kamalov_f@inbox.ru

The article is devoted to the description and the results of experiments in which course electric characteristics of a section a jet of a conducting fluid of certain length have been defined. The description of the developed technique of carrying out of experiments is resulted. Experimental installation for research of the electrohydrodynamic processes arising at leakage of an electric current a jet of a conducting fluid. Volt-ampere characteristics of a section a jet of a conducting fluid at various concentration of a solution are received. Statistical processing of results of experiments is spent. On the basis of the obtained test data have been spending calculations resistance accounts, specific resistances and specific electric conductivities of a section a jet of the conducting fluid for each concentration of a solution strength at constant speed of the fluxion of a jet. The empirical relationship specific electrical conductivity of a section a jet of a conducting fluid from concentration of a solution is received.

Keywords: electrical conductivity, the electrically conductive fluid electrohydrodynamic processes, an electric current.

Известны устройства [1, 2], основной функциональной частью которых является струя электропроводящей жидкости, служащей токопроводящим каналом. Эффективность передачи по данному каналу электрической энергии зависит от ряда факторов, таких как электропроводящие свойства используемой жидкости, приложенное к струе напряжение, а также геометрические параметры струи. Поэтому представляется целесообразным определение экспериментальным путем электрических параметров отдельно взятого участка струи жидкости.

Для наглядности процедуры проведения измерений была построена электрическая схема замещения эксперимента, которая представлена на рис. 1.

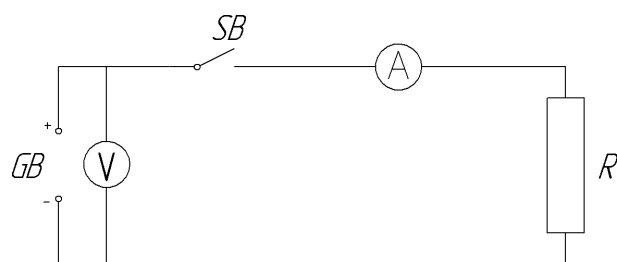


Рисунок 1. Схема замещения электрической цепи, включающей струю электропроводящей жидкости

GB – источник постоянного напряжения, *SB* – механический ключ.

На схеме струя представлена элементом цепи *R*. Реально представляет собой струю длиной 0,45 м, которая истекает постоянной скоростью $(3,1 \pm 0,1)$ м/с из насадка из меди и, пройдя расстояние, попадает в медную сетку. Насадок с внутренним диаметром 4,1 мм и сетка (сторона ячейки в свету равна 0,1 мм) являются также электродами, которые обеспечивают электрический контакт между жидкостью струи и токонесущими проводами. Электроды жестко закреплены на штативах при помощи диэлектрических держателей. Направление тока в цепи совпадает с направлением движения струи.

Для проведения исследований был выбран раствор поваренной соли [2] в воде.

Вода водопроводная, т.е. близкая по свойствам к той, которая применялась при исследовании устройств [5, 7]. После приготовления раствор подвергся фильтрации при помощи бумажного фильтра. Определение исходной концентрации раствора проводилось на основе данных [3] о плотности водного раствора поваренной соли при различных концентрациях соли.

Температура раствора во время измерения составляла (27 ± 1) °С. Температура окружающей среды была равна 26 °С. Все электрические измерения проводились при помощи универсального мультиметра MASTECH MY-64 (Госреестр СИ РФ №31772-06). Определение плотности раствора производилось с использованием ареометров АОН-1, АОН-2 [1]. Все приборы для измерений имеют срок поверки на время проведения измерений.

Для проведения измерений собиралась электрическая цепь, согласно представленному выше рисунку 1. Затем были проведены измерения тока в цепи от напряжения при различных концентрациях раствора, т.е. по существу были определены вольт-амперные характеристики струи определенной длины. По полученным данным построены графики, которые представлены на рис. 2–4. Следует оговориться, что при измерениях и расчетах не были учтены сопротивления соединительных проводов и переходных контактов, т.к. их суммарное сопротивление намного меньше, чем сопротивление участка струи.

Математическая обработка данных проводилась с помощью прикладных программ

пакета «Microsoft Excel 2007» с макрос-дополнением XLSTAT-Pro. Осуществлялись подсчёты: средней арифметической, среднего квадратичного отклонения, доверительного интервала истинного среднего в исследуемой выборке, с вероятностью 95 % ($p=0,05$). Полученные результаты могут быть записаны в виде:

$$I = (I_{cp} \pm D_x),$$

где I_{cp} – среднее арифметическое значение тока из 3 измерений, mA ;

$D_x = 0,02 mA$ – граница доверительного интервала.

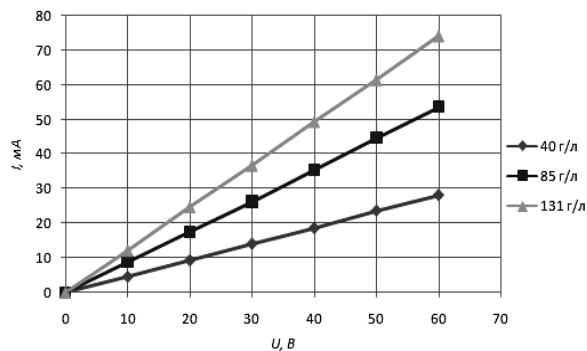


Рисунок 2. Вольт-амперные характеристики участка струи жидкости при концентрациях раствора 40 г/л, 85 г/л и 131 г/л

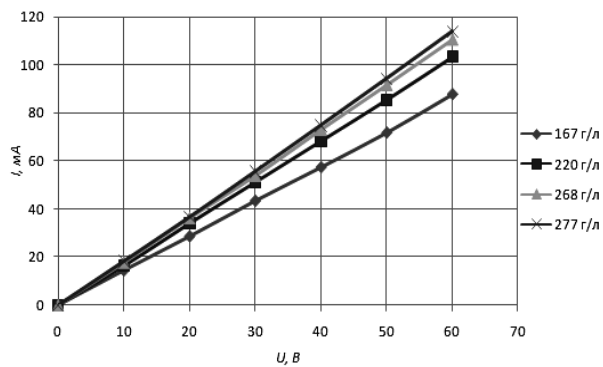


Рисунок . Вольт-амперные характеристики участка струи жидкости при концентрациях раствора 167 г/л, 220 г/л, 268 г/л и 277 г/л

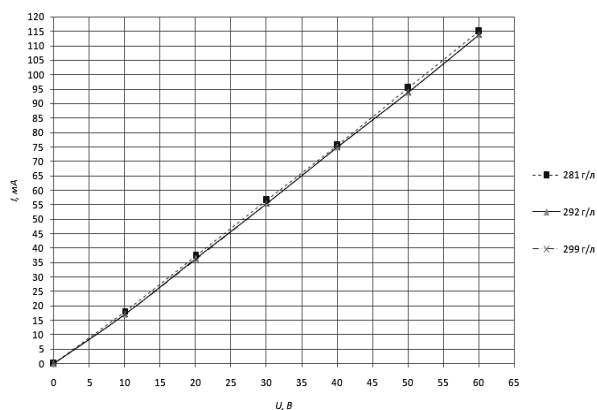


Рисунок 4. Вольт-амперные характеристики участка струи жидкости при концентрациях раствора 281 г/л, 292 г/л и 299 г/л

В дополнение к рис. 4 можно сказать, что штриховая линия с квадратным маркером, соответствующая концентрации раствора 281 г/л, идет выше остальных линий, которые соответствуют концентрации раствора 292 г/л и 299 г/л.

Далее по полученным данным были рассчитаны значения удельной электропроводности для данного участка струи.

Удельная электропроводность рассчитывалась по следующей формуле:

$$\delta = \frac{1}{\rho}, \quad (1)$$

где ρ – удельное сопротивление участка струи, Ом·м.

В свою очередь, удельное сопротивление находилось, согласно формуле (2):

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

где S – площадь поперечного сечения струи жидкости, м²;

l – длина участка струи, м;

$R = \frac{U}{I}$ – сопротивление участка струи, Ом.

Исходя из рассчитанных данных, был построен график зависимости удельной электропроводности участка струи жидкости от концентрации раствора при напряжении 60 В, который представлен ниже.

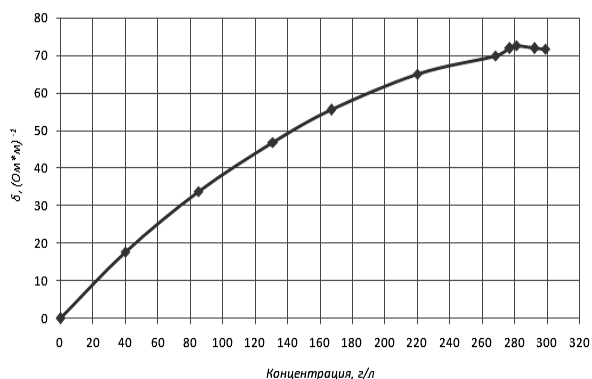


Рисунок 5. График зависимости электропроводности участка струи жидкости от концентрации раствора при напряжении 60 В

Графики (рис. 2–4) наглядно показывают, что с увеличением концентрации раствора ток в цепи тоже растет практически по линейному закону. С повышением концентрации раствора вольт-амперная характеристика становится более крутой, т.е. увеличивается условный угол наклона касательной к горизонтальной оси. В данном случае, касательная совпадает с линией, представляющей вольт-амперную характеристику. Это означает, что сопротивление струи падает, что подтверждает также график на рис. 5. Однако чем ближе становится концентрация к пределу растворимости поваренной соли в воде (≈ 35 г на 100 г воды) [3], тем больше в характеристиках прослеживается замедление изменения сопротивления струи в меньшую сторону, и, наконец, после определенного значения концентрации, сопротивление не снижается. Это видно на графике 5.

Таким образом, в ходе данных экспериментов определены вольт-амперные характеристики участка струи электропроводящей жидкости определенной длины. По полученным данным рассчитаны: сопротивление, удельное сопротивление и удельная электропроводность участка струи. По измеренным и рассчитанным данным были построены вольт-амперные характеристики участка струи жидкости при различных концентрациях раствора и график зависимости удельной электропроводности струи жидкости от концентрации. По графикам, приведенных на рис. 2–5, видно, что вольт-амперные характеристики участка струи жидкости подчиняются некоторому линейному закону, и удельная электропроводность участка струи растет с повышением концентрации раствора. При этом, на графике 5 видно, после определенного значения концентрации удельная электропроводность струи уже не повышается.

Результаты данных исследований могут быть использованы при разработке методики расчета соответствующих устройств [7, 5].

Список литературы

1. ГОСТ 18481-81 Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2007. 22 с.
2. ГОСТ Р 51574-2000. Соль поваренная пищевая. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2005. 22 с.
3. Иванов В. М., Семенов К. А., Прохорова Г. В., Симонов Е. Ф. Аналитическая химия натрия. М.: Наука, 1986. 245 с. .
4. Кузнецов В. А., Ялунина Г. В. Основы метрологии. М.: Издательство стандартов, 1995. 279 с.
5. Патент РФ №2370720, F41B 015/04. Электрошокер/ *Хайруллин И. Х., Исмагилов Ф. Р., Камалов Ф. А.* Оpubл. 20.10.2009. Бюл. № 29. 5 с.
6. Росляков Г. В., Князев Б. А. Методы обработки экспериментальных данных. Новосибирск: НГУ, 1985. 5 с.
7. Patent US №5625525, F41B 9/00, F41B 015/04. Portable electromagnetic stun device and method / *Peter G., Wild, Jr., Norbert C.* Оpubл. 29.04.1997. Бюл. № 08/273571. 8 с.

Рецензенты:

Гизатуллин Ф. А., д.т.н., профессор кафедры ЭМ Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа.

Никифоров И. П., д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения Псковского государственного университета, г. Псков.