

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Герцель Илья Сергеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**"Электрохимическая заточка термоанемометрического датчика"**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19303

**Научный руководитель:**

с. н. с., к. -ф.-м. н. Ермолаев Ю. Г.  
Оценка научного руководителя

\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума:**

к.ф.-м.н., Максимов В. В.  
Оценка преподавателя практикума

\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к.т.н. В.Т. Астрелин  
Итоговая оценка

\_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2020

## **Аннотация**

Целью работы являлось рассмотрение способа изготовления токопроводов для термоанемометрического датчика путём электрохимической заточки. Датчик представляет собой прибор для измерения скорости потока жидкости или газа от 0,1 м/сек и выше, принцип действия которого основан на зависимости между скоростью потока и теплоотдачей проволоочки, помещенной в поток и нагретой электрическим током. [4] Основным чувствительным элементом является нить из никеля, вольфрама или из платины длиной 3—12 мм и диаметром 0,005—0,15 мм, укрепленная на тонких электропроводных стержнях, токопроводах. Токопровод изготавливается из стальной проволоки диаметром примерно 0,5 мм. Один из концов остается затуплённым, второй конец проходит процесс электрохимической заточки. Для закрепления нити на токопровода требуется процесс точечной сварки, для которого также был изготовлен образец из меди, так как он является одним из контактов.

При электрохимической заточке на источнике питания был установлен режим стабилизации по току. В ходе эксперимента был определен диапазон токов, при которых происходит оптимальная заточка стальных образцов. Было проверено подходит ли для заточки образец из меди, который послужит контактом для наварки. Для него был составлен алгоритм и рекомендации по заточке, а также найден оптимальный ток заточки.

## Оглавление

Введение .....	4
Электролиз.....	5
Изготовление токопроводов термоанемометрического датчика.....	7
<i>Срямление и нарезка стальной проволоки.</i> .....	7
<i>Изготовление медных заготовок.</i> .....	8
Изготовление электролита .....	9
Электрохимическая заточка образцов.....	10
Результаты заточки образцов .....	12
<i>Образцы из стали</i> .....	12
<i>Образцы из меди</i> .....	16
Заключение.....	19
Список литературы: .....	20

## **Введение**

Аэрофизика – это раздел физики, изучающий вопросы движения тел в газовых средах, таким образом проведение аэрофизического эксперимента требует измерения большого диапазона физических величин: скорости, плотности, давления, вязкости и температуры. Термоанемометрический метод используется в исследованиях газовых потоков, данный метод широко используется в экспериментах поскольку обладает относительно высокой точностью и чувствительностью, а также чувствительный элемент имеет достаточно малый объем. [4]

Главным элементом термоанемометров является нить накаливания с температурой, превышающей температуру воздуха в среде. В основе принципа работы лежит зависимость между скоростью газового потока и теплопередачей этой нити, нагретой с помощью электрического тока.[3]

Термоанемометры обладают чрезвычайно высокой частотной характеристикой и прекрасным пространственным разрешением по сравнению с другими методами измерения и поэтому почти повсеместно используются для детального исследования турбулентных потоков или любого потока, в котором быстрые колебания скорости вызывают интерес. [5]

Термоанемометрические датчики имеют высокую цену в связи с тем, что их не производят на территории Российской Федерации. Поэтому при определении путей уменьшения затрат на проведение экспериментальных исследований в ИТПМ СО РАН, разработана технология локального изготовления термоанемометрических датчиков [1]

## Электролиз

Электролиз — физико-химический процесс, состоящий в выделении на электродах составных частей растворённых веществ или других веществ, являющихся результатом вторичных реакций на электродах, который возникает при прохождении электрического тока через раствор, либо расплав электролита. [6]

При этом отрицательно заряженный электрод (катод) притягивает положительно заряженные ионы (катионы). Положительно заряженный электрод (анод) притягивает отрицательно заряженные частицы (анионы). Катод выступает в качестве восстановителя, а анод — в качестве окислителя (рис. 1).

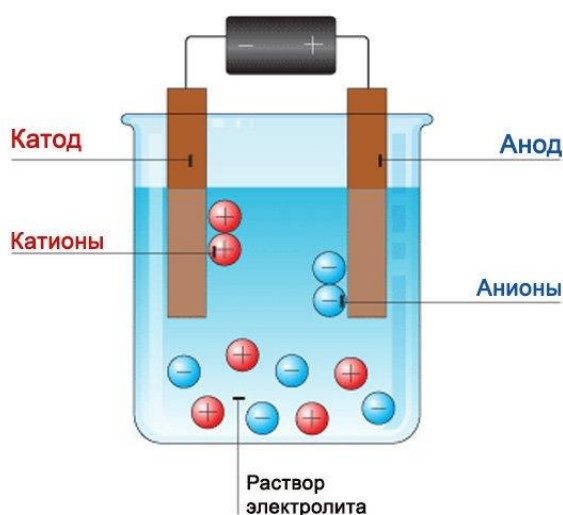


Рис. 1 Компоненты электролиза

В 1832 году Фарадей установил, что масса  $m$  вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна электрическому заряду  $q$ , прошедшему через электролит:

$$m = k \times q = k \times I \times t \quad (1)$$

если через электролит пропускается в течение времени  $t$  постоянный ток  $I$ .

Коэффициент пропорциональности  $k$  — электрохимический эквивалент вещества. Он численно равен массе вещества, выделившегося при прохождении через электролит единичного электрического заряда, и зависит от химической природы вещества.

Электрохимические эквиваленты различных веществ пропорциональны их молярным массам и обратно пропорциональны числам, выражающим их химическую валентность.

Второй закон Фарадея:

$$m = \frac{M * I * \Delta t}{n * F} \quad (2)$$

где  $M$  молярная масса данного вещества, образовавшегося в результате электролиза,  $I$  сила тока, пропущенного через вещество или смесь веществ,  $\Delta t$  время, в течение которого проводился электролиз,  $F$  постоянная Фарадея,  $n$  число участвующих в процессе электронов.

Важно отметить, что, независимо от того, выделяются ли на электродах первичные продукты электролиза или продукты вторичных реакций, законы Фарадея всегда сохраняют силу.[6]

## Изготовление токопроводов термоанемометрического датчика.

### Спрявление и нарезка стальной проволоки.

Токопроводы изготовлены из стальной проволоки, но в силу того, что проволока намотана на катушку, в первую очередь необходимо произвести процесс спрявления. Спрявление производится с помощью отжига нити, находящейся под натяжением. Нить одним концом закрепляется на высоте 2,2 м от пола, а к другому концу крепится груз (рис. №2). Концы проволоки подключаются с помощью клем к выпрямителю ВСА-5 (рис. №4).



Рис. 2 Установка для спрявления

Во время процесса отжига проволока нагревается до красна при токе в 5 А, что можно заметить на (рис. №3). После чего проволока была выдержана в раскаленном состоянии определенное время, затем выпрямитель отключается и цвет нити становится прежним, а распрямленное состояние сохраняется. [7]



Рис. 3 Раскаленная Проволока



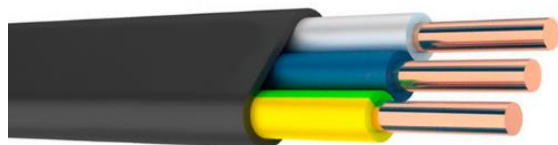
Рис. 4 Выпрямитель ВСА-5

Был измерен диаметр проволоки  $d_0 = 0,51 \pm 0,005$  мм до и  $d_k = 0,5 \pm 0,005$  мм после спрямления. После процесса спрямления проволоку необходимо разрезать на образцы размером примерно в 10 см.

#### Изготовление медных заготовок

Для изготовления медного образца необходимо было изъять медный сердечник из силового кабеля (рис. №5), для этого была произведена зачистка провода от изоляции и последующая обработка сердечника наждачной бумагой.

Выпрямление провода происходило путем закрепления одного конца в тиски и натяжением второго конца. Отжиг в данном случае не требовался, поскольку образец из меди имеет большее поперечное сечение нежели образец из стали.



*Рис. 5 Силовой медный кабель*



## Изготовление электролита

Электролит – вещество, которое проводит электрический ток.[2] В работе электролит был получен путем смешивания серной кислоты в концентрации 50% и ортофосфорной кислоты концентрированной. Соотношение кислот 40:60.

Необходимые приборы для приготовления раствора:

- измерительные мензурки объемом 25 мл, 2шт.
- основной объем 45 мл, 1 шт.

Также понадобится щелочной раствор гидрокарбоната натрия и воды для нейтрализации кислоты.

Следует обратить внимание на технику безопасности при работе с опасными веществами и технику приготовления раствора. Данный этап эксперимента проводился в защитных перчатках, очках и в помещении, оборудованном вытяжкой на улицу.

Смешиваем  $H_2SO_4$  плотностью  $1,4 \text{ г/см}^3$  и  $H_3PO_4$  плотностью  $1,8 \text{ г/см}^3$ .

В менее плотную среду добавляем более плотную. Для нашего объема необходимо отмерить мензуркой 16 мл  $H_2SO_4$  и 24 мл  $H_3PO_4$ . В основной объем наливаем серную кислоту, затем ортофосфорную.

После всех работ во все мензурки был налит щелочной раствор, после чего мензурки были очищены и промыты проточной водой. По окончании работ полученный раствор был перелит в специальную ёмкость и плотно закрыт крышкой, после этого он был убран в безопасное место. Объем был промаркирован.

Результат: Готовый электролит средней плотности  $1,6 \text{ г/см}^3$ .

## Электрохимическая заточка образцов

После изготовления и обработки образцов была собрана установка для травления, схема которой приведена на рисунке №6. Она состоит из: источника питания Б5-44А, амперметра, вольтметра, двигателя ДСД-2 с винтовым подъемником, стеклянной емкости для растворов, катода из свинца, раствора для травления. В качестве вольтметра и амперметра использовались два малогабаритных цифровых мультиметра М830В с погрешностью 0,5% от измеряемой величины.

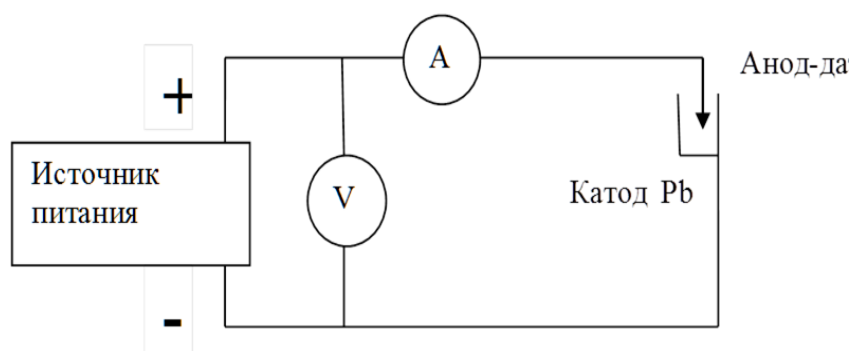


Рис. 6 Схема для травления датчиков

Эксперимент проводился в соответствии с техникой безопасности в вытяжном шкафу (рис. 7).



Рис. 7 Экспериментальная установка

Процесс заточки образцов происходил следующим образом. Тара, в которую заливается электролит, помещается в установку, затем в образец помещается в раствор приблизительно на  $10 - 15 \pm 0.5$  мм и закрепляется на

клемме контакта с помощью крокодила, который крепится к подъёмному механизму. Источник питания включается в цепь одновременно с подъемным механизмом.

Для того, чтобы эксперимент происходил верно стоит учитывать ряд важных замечаний:

1. Источник тока необходимо переключить в режим стабилизации по току, чтобы электролиз происходил равномерно.
2. Образец должен опускаться параллельно оси цилиндрической тары, поскольку сам образец имеет цилиндрическую форму.
3. После заточки, образец необходимо поместить в щелочной раствор для нейтрализации остаточных продуктов реакции.
4. При заточке медного образца на поверхности раствора скапливается проводящий слой из отслоившегося металла, в связи с чем может произойти короткое замыкание и образец может воспламениться, поэтому необходимо во время эксперимента периодически выключать подъемный механизм и источник питания и первоначально, измерив высоту столба раствора, убирать с помощью шприца отслоившиеся кусочки металла.

Измерения геометрических параметров заточенных токопроводов проводились с помощью микроскопа БМИ-1. Микроскоп снабжен координатной кареткой, которая может перемещаться по координатам  $x$  и  $z$ . Точность микроскопа составляет 0.005 мм. Из полученных данных, длины и диаметра области травления токопровода были сделаны оценки объема и площади потери металла.

## Результаты заточки образцов

### Образцы из стали

Начальные размеры образца примерно 10 см ниже приведен график зависимости потери длины  $L$  от тока  $I$  образцов из стали (рис. 8).

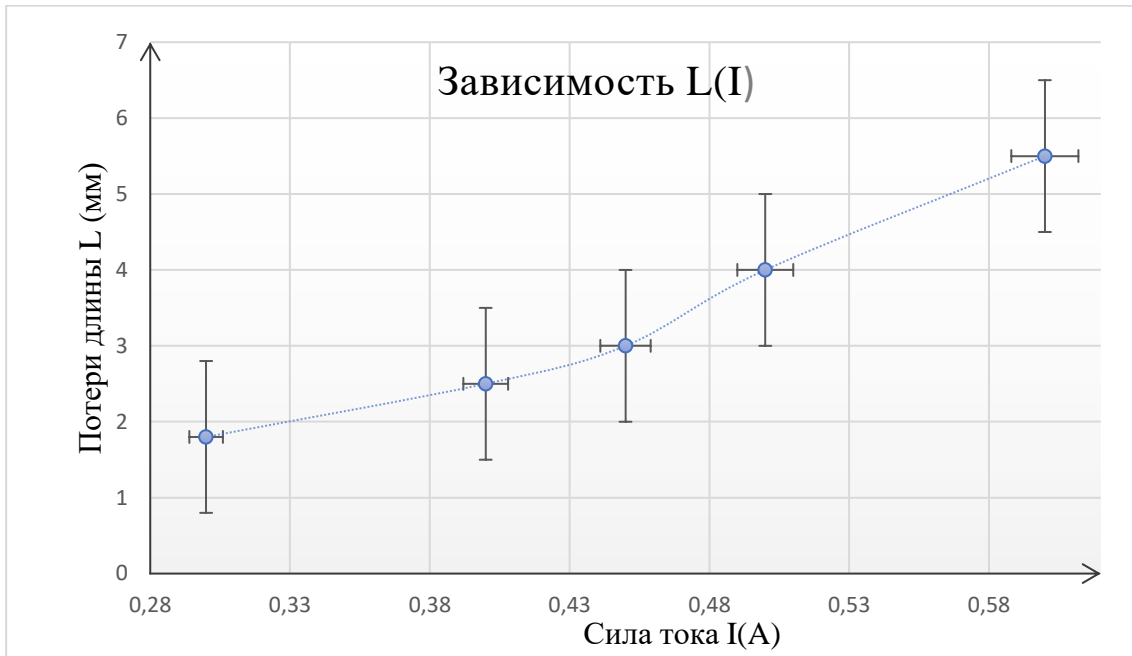


Рис. 8 зависимость  $L$  от  $I$

Далее приведен графики зависимости напряжения в цепи  $U$  от времени  $t$  при различных значениях тока  $I$  (рис. 9).

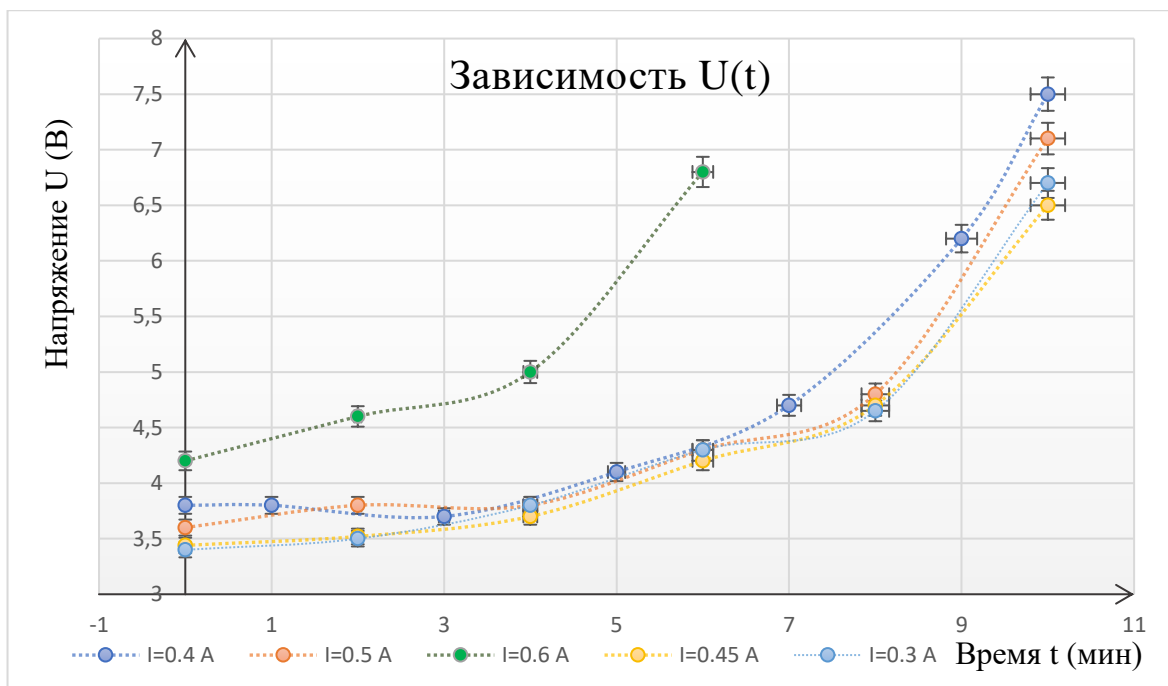


Рис. 9 зависимость  $U$  от  $t$

Заключительным является график зависимости диаметра наконечника  $d$  от тока  $I$  (рис. 10).

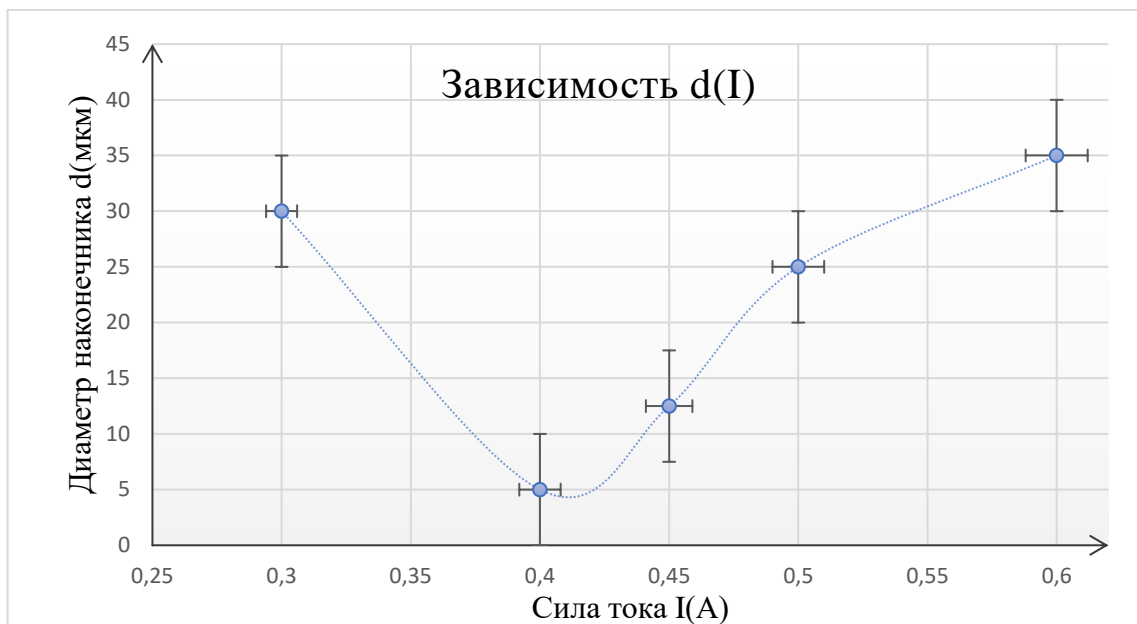
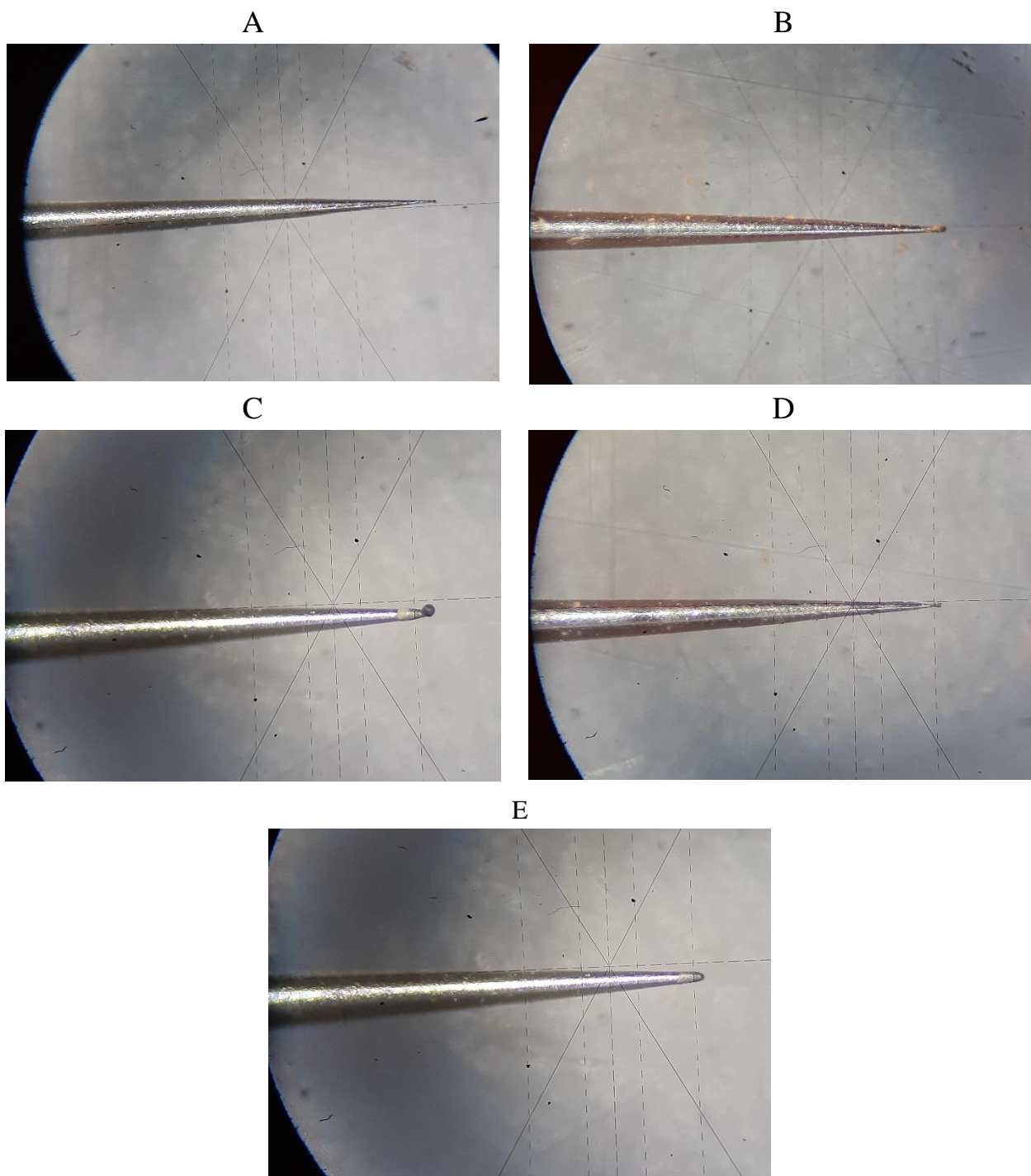


Рис. 10 зависимость  $d$  от  $I$



*Рис. 11 А – токопровод заточенный при силе тока 0,4 А (оптимальная заточка). В – токопровод, заточенный при силе тока 0,5 А (недостаточно заточен). С – токопровод заточенный при силе тока 0,6 А (образец испорчен). D – токопровод, заточенный при силе тока 0,45 А (оптимальная заточка). E – токопровод заточенный при силе тока 0,3 А (заточка не произошла).*

### **Выводы:**

При силе тока выше 0,5 А. происходит кипение электролита из-за чего увеличиваются потери в длине образца и диаметр наконечника. При токе 0,4 – 0,45 А происходит оптимальная заточка образца, однако данные сильно зависят от качества и срока эксплуатации электролита, поскольку, при длительном использовании в электролите образуется осадок металлов, меняется его плотность, и ухудшаются кислотные свойства.

### Образцы из меди

Начальные длины образцов были 10,15 см на рис. 12 приведен график зависимости потери длины образца  $l$  от тока  $I$ . А на рис. 13 представлен график зависимости диаметра наконечника  $D$  от силы тока  $I$ .

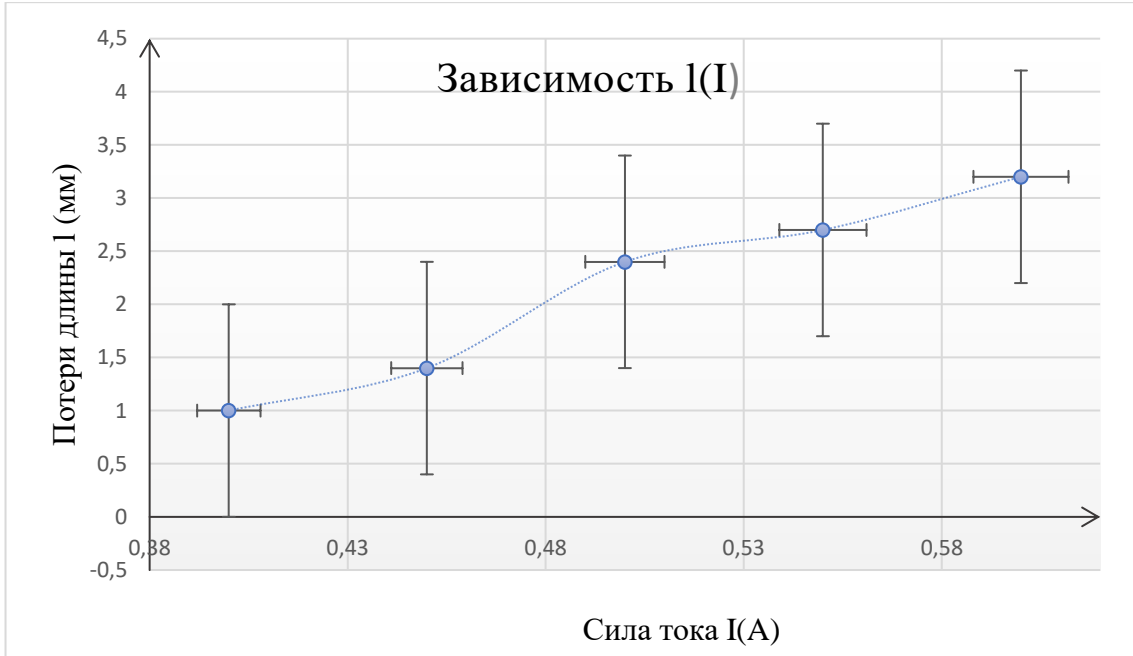


Рис. 12 Зависимость длины  $l$  от тока  $I$

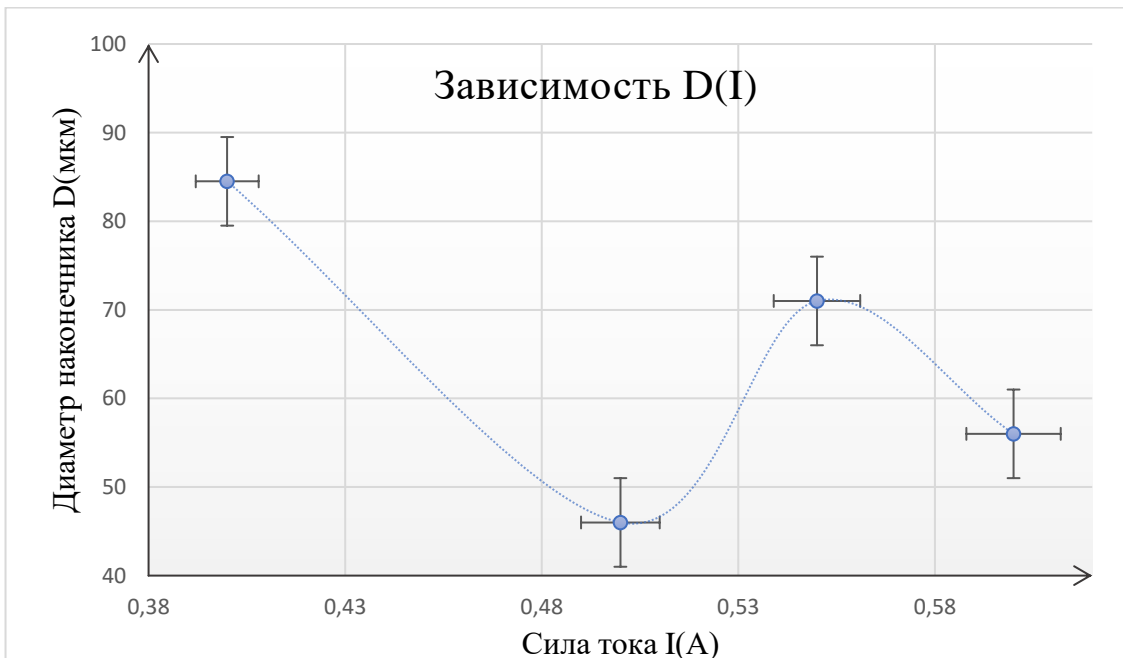
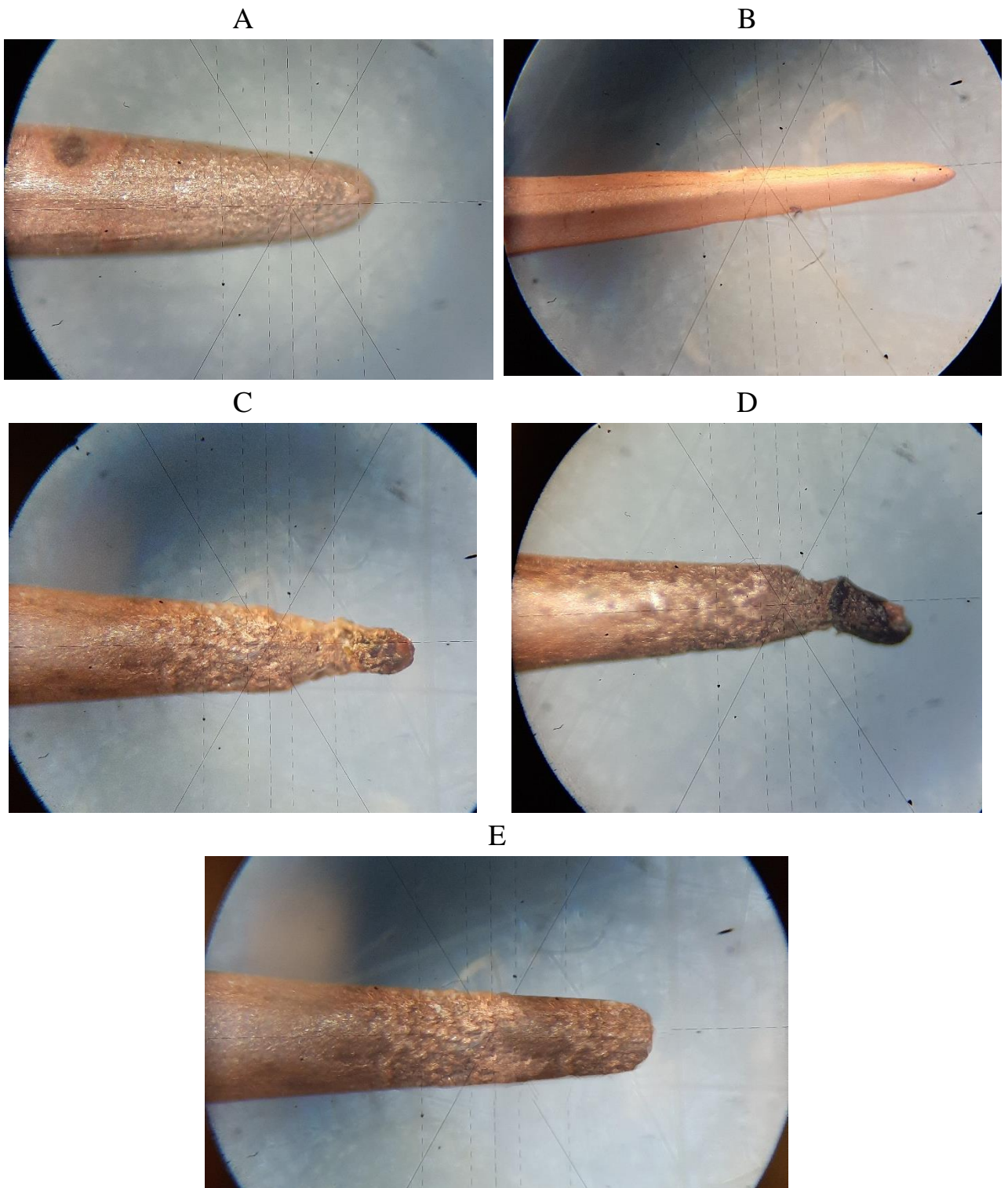


Рис. 13 зависимость диаметра  $D$  от  $I$





*Рис. 14 А – образец, заточенный при силе тока 0,55 А (первичная заточка). В – образец, заточенный при силе тока 0,5 А (вторичная заточка). С – токопровод заточенный при силе тока 0,6 А (образец испорчен). D – образец, заточенный при силе тока 0,5 А (образец испорчен). E – образец, заточенный при силе тока 0,4 А (заточка не произошла, поверхность несимметричная и рыхлая).*

## **Выводы:**

В результате заточки можно сделать следующие выводы:

- Заточка должна происходить в несколько этапов. Поскольку образец из меди имеет относительно большой диаметр, приходится увеличивать ток в цепи, но при том существуют токи, при которых, из-за особенностей меди, во время заточки от образца отслаиваются слишком крупные части, что приводит к несимметричности.
- Во время заточки необходимо очищать раствор от взвеси, иначе может произойти короткое замыкание, результат которого можно наблюдать на рис. 14 пункт D.
- Помимо многоэтапности заточки, необходимо калибровать ток, чтобы получить оптимальную заточку.

Таким образом оптимальной для медного образца является двухэтапная заточка, с контролем симметрии образца, очисткой электролита от взвеси и при первичном токе 0,55 А и вторичном 0,45 А. Снимок, успешно заточенного образца можно наблюдать на рис. 14 пункт В.

## Заключение

В данной курсовой работе исследован процесс электролиза при электрохимической заточке токоподводящих элементов термоанемометрического датчика. Источник питания был установлен в режим стабилизации тока. Определены зависимости потери длины образцов, а также диаметра торца от величины тока в цепи. Оптимальная заточка имеет вид правильного конуса и достигается при токе 0,4 – 0,45 А для образцов из стали и при первичном токе 0,55 А и вторичном 0,45 А для медных образцов. Разработан алгоритм и составлены рекомендации по заточке медных образцов. Однако результат электрохимической заточки критически зависит от качества электролита. Для многократно использованного электролита ток, подаваемый на контакты должен быть выше.

## Список литературы:

1. Косорыгин В.С. Отчет №1095 ИТПМ СОАН “Лабораторный комплекс для изготовления миниатюрных термоанемометрических датчиков с нагреваемой нитью (технология и оснастка). 1980г.

2. Кистяковский В. А., Электролит // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб., 1890—1907.

3. "[Hot-wire Anemometer explanation](#)". *eFunda*. *Archived from the original on 10 October 2006*. Retrieved 18 September 2006.

4. N. Majhi, FLUID FLOW MEASUREMENT SYSTE USING HOT WIRE ANEMOMETER, M. Topno, Department of Electronics & Communication Engineering National Institute of Technology, Rourkela, 2012.

5. Хинце И.О. Турбулентность. Её механизм и теория. Под редакцией Г.Н. Абрамовича. - Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. - 680 с.

6. Электронный источник <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электролиз>.

7. Электронный источник <https://ru.wikipedia.org/wiki/Отжиг>.