

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Матвеев Игорь Сергеевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение влияния температуры на контактную разность
потенциалов проводников**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18307

Научный руководитель:

д.ф.-м.н., Косинов А.Д.
Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 2019г.

Преподаватель практикума

ассистент Краснопевцев С.Е.
Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 2019 г.

Куратор практикума:

к.ф.-м.н., Астрелин В.Т.
Итоговая оценка

« _____ » _____ 2019г.

Оглавление

1. Аннотация	3
2. Введение.....	4
3. Теоретическая часть.....	5
4. Экспериментальная часть.....	9
4.1. Экспериментальные материалы и оборудование	9
4.2. Проведение эксперимента.....	9
5. Результаты и обработка полученных данных	10
6. Вывод.....	16
7. Список литературы	16

1. Аннотация

Проведённая работа направлена на изучение влияния температуры на контактную разность потенциалов проводников. В работе представлена теоретическая часть, описывающая природу появления контактной разности потенциалов. Использовались следующие металлы: медь, латунь, константан, сталь, алюминий. Исходя из экспериментальных данных, получена зависимость контактной разности потенциалов и температуры, как для одиночных пар, так и для пар, соединённых посредством скрутки и сварки. Данные зависимости были сравнены. Получены коэффициенты температурной чувствительности для некоторых пар металлов.

Все используемые материалы и оборудование описаны, предоставлены их технические характеристики.

2. Введение

При проведении различных научных исследований экспериментаторам часто приходится иметь дело с контактом двух металлов или с контактом металл-полупроводник. Вследствие этого, появляется контактная разность потенциалов. В реальном физическом эксперименте нельзя исключать такой фактор, как появление такой разности потенциалов. Примером создания контактной разности потенциалов может служить появление поверхностных зарядов при соприкосновении одежды с кожей человека. При снятии одежды могут возникать значительные разряды. Возникающие электрические поля и разности потенциалов при контакте проводников различного типа представляют собой величины малого порядка, поэтому для их регистрации необходимо иметь подходящую аппаратуру, позволяющую проводить измерения с достаточной точностью. Такими приборами могут быть различные чувствительные вольтметры и мультиметры. В данной работе используется цифровой вольтметр Agilent 34401A.

Перед проведение данной работы были поставлены следующие задачи: изучение зависимости контактной разности потенциалов от температуры контактного спая; определение влияния температурной зависимости от способов соединения металлов, таких как скрутка и спайка; сравнение и объяснение коэффициентов температурной зависимости для различных пар металлов.

2. Теоретическая часть

При соприкосновении двух проводников, например, металлов, происходит переход электронов из одного проводника в другой. Вследствие чего один металл становится положительно заряженным, а второй отрицательно заряженным. Поэтому между металлами возникает разность потенциалов.

В 1797 году явление контактной разности потенциалов обнаружил итальянский физик Алессандро Вольта. При исследовании различных металлов Вольта установил, что если металлы Al, Zn, Sn, Pb, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd привести в контакт в данной последовательности, то потенциалы металлов в таком ряду будут уменьшаться. Если последовательно соединить несколько различных металлов при условии, что между ними будет одинаковая температура, то разность потенциалов между крайними металлами не будет зависеть от разделяющих их металлов. Если же крайние металлы объединить в кольцо, то в такой системе не будет возникать ЭДС. Это явление называется законом последовательных контактов Вольта.

Контактная разность потенциалов изменяется от нескольких десятых до нескольких единиц вольт для различных пар металлов. На ее значение влияют малейшие загрязнения поверхностей соприкосновения, образовавшаяся на них оксидная пленка и т.п. [1]

На появление контактной разности потенциалов оказывают влияние две причины:

1) Чтобы покинуть металл, электрону необходимо совершить некоторую работу, называемой работой выхода A . Она совершается в тонком поверхностном слое толщины δ порядка нескольких атомных слоев, в котором на электрон действуют силы, стремящиеся вернуть его в металл. Заметив это, рассмотрим кристаллические решетки двух металлов, находящихся в непосредственном контакте между собой (рис. 1).

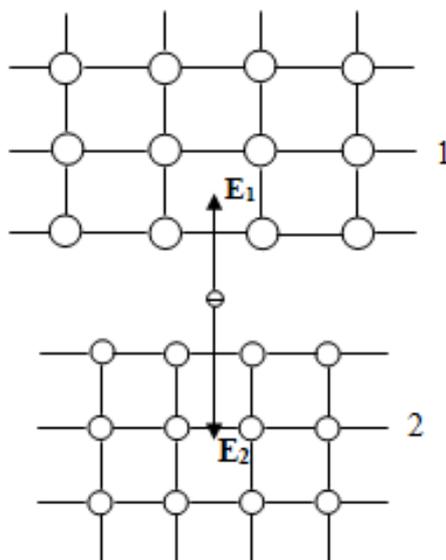


Рис. 1. Кристаллические решетки двух металлов.

На электрон, оказавшийся в пограничной области, действуют противоположно направленные электрические поля E_1 и E_2 , созданные поверхностными слоями каждого из металлов. В данном случае из-за более плотной кристаллической решетки второго металла, результирующая сил, действующих на электрон, будет направлена в сторону металла 2. Если плотности электронного газа у обоих металлов равные, то вследствие теплового движения оба металла посылают в пограничный слой одинаковое число электронов N за одинаковые промежутки времени. Тогда из этих $2N$ электронов, поступивших в пограничный слой, большая часть втягивается в металл 2. Таким образом, из пограничного слоя металл 1 получает меньше электронов, чем посылает сам, и заряжается положительно. Тогда металл 2 заряжается отрицательно. Это вызывает появление внешнего электрического поля E , препятствующего переходу электронов от одного металла к другому, в пограничной области.

Исходя из этого, со временем должно наступить равновесное состояние, при котором станет одинаковое количество электронов, проходящих через пограничную область в противоположных направлениях. Очевидно, что в таком случае сумма всех векторов E_1 , E_2 и E должна быть равна нулю, так как в

этом состоянии на электроны не должны действовать односторонне направленные силы. \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_2 направлены противоположно, следовательно

$$E = E_1 - E_2.$$

Умножим это равенство на малое перемещение электрона dx и проинтегрируем вдоль какого-нибудь пути перехода от одного металла к другому, и таким образом найдем контактную разность потенциалов между ними. Обозначим ее $(\varphi_1 - \varphi_2)_A$. Согласно формуле для работы выхода $A = \int_0^{+\infty} eE(x)dx$, выполняются равенства $\int_1^2 E_1 dx = \frac{A_1}{e}$ и $\int_1^2 E_2 dx = \frac{A_2}{e}$. Тогда

$$(\varphi_1 - \varphi_2)_A = -\frac{A_1 - A_2}{e},$$

знак «минус» учитывает направление векторов напряженности.

2) В случае разных плотностей (n) электронного газа в металлах вследствие диффузии возникает переход электронов из металла с большей плотностью в металл с меньшей плотностью электронного газа. Допустим, что у двух металлов, приведенных в контакт, равные работы выхода ($A_1 = A_2$), но количество свободных электронов в единице объема отличаются ($n_1 \neq n_2$). Пусть, в любой точке пограничной области электрические поля, взаимно уравновешиваются ($\mathbf{E}_1 = -\mathbf{E}_2$). Тогда электроны могут спокойно переходить из одного металла в другой. В этом случае каждый из металлов будет посылать в пограничную область через одинаковые площади сечения S различные потоки частиц Φ_1 и Φ_2 . Таким образом, из одного металла в единицу времени будет выходить $\Phi_1 S$ электронов, а поступать $(\Phi_1 + \Phi_2)S/2$ электронов. Тогда два металла приобретут противоположные заряды. В результате появится электрическое поле ΔE , направленное от положительно заряженного металла к отрицательно заряженному. Это поле остановит диффузионный переход электронов из одного металла в другой и, соответственно, будет препятствовать выравниванию плотностей электронного газа в металлах.

Согласно распределению Больцмана, плотность распределения электронного газа:

$$n_2 = n_1 e^{-\Delta A/kT},$$

где $\Delta A = e(\varphi_1 - \varphi_2)$, φ_1 и φ_2 – потенциалы металлов после наступления равновесного состояния. Тогда

$$\Delta A = e(\varphi_1 - \varphi_2)_n = kT \ln \frac{n_1}{n_2}; (\varphi_1 - \varphi_2)_n = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

(k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура металлов).

При существовании обеих причин возникновения контактной разности потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}.$$

В пограничном слое на электрон действуют три электрических поля: \mathbf{E} , которое создается между металлами вследствие скопления в них избыточных зарядов, \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_2 , существующих в поверхностном слое каждого металла. Однако в равновесном состоянии сумма $\mathbf{E} + \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$ не должна равняться нулю, поскольку, если это равенство будет выполнено, то будет возможен односторонний переход электронов из металлов с большей электронной плотностью в металл с меньшей плотностью. Поэтому равновесие может наступить тогда, когда сумма векторов $\mathbf{E} + \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$ дает некую результирующую $\Delta \mathbf{E}$, достаточную для остановки диффузии из-за различия плотностей электронного газа. Таким образом, в пограничной области между металлами при равновесии существует только контактное электрическое поле $\Delta \mathbf{E}$, обусловленное вторым членом предыдущей формулы. Этому полю соответствует разность потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)_n = \int_1^2 \Delta E dx = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$ [2].

4. Экспериментальная часть

4.1. Экспериментальные материалы и оборудование

Для измерения контактной разности потенциала использовался чувствительный цифровой мультиметр Agilent 34401A. Пределы измерения напряжения постоянного тока: от 100 мкВ до 1000 В, погрешность измерения постоянного напряжения: $\pm(0,003\%$ от показания + $0,003\%$ от предела измерения)[3]. Предел измерения постоянного напряжения был установлен 100 мВ.

Для измерения температуры использовался ртутный термометр. Диапазон измерения температур: $0^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$. Погрешность измерений составляет $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

В качестве экспериментальных образцов использовались следующие металлы: алюминий, сталь, медь, латунь, константан. Последние два металла представляют из себя сплав меди. Поэтому контактная разность потенциалов может не сильно отличаться в парах данных металлов.

Некоторые пары металлов предварительно были сварены с помощью угольных электродов.

4.2. Проведение эксперимента

Эксперимент проводился следующим образом: две разные проволоки, соединенные посредством скрутки или сварки, погружали в сосуд с водой при температуре 50°C . Затем подключали к мультиметру при помощи соединительных проводов. Предварительно места контактов зажимов и металлов были очищены мелкозернистой наждачной бумагой. По мере охлаждения воды в условиях комнатной температуры, температура воды и данные с мультиметра фиксировались. Регистрация данных производилась через каждый градус. Вода охлаждалась до комнатной температуры (20°C), после чего запускался новый эксперимент. Были построены вольт-температурные характеристики для различных пар металлов.

Схема эксперимента показана на Рис. 2.

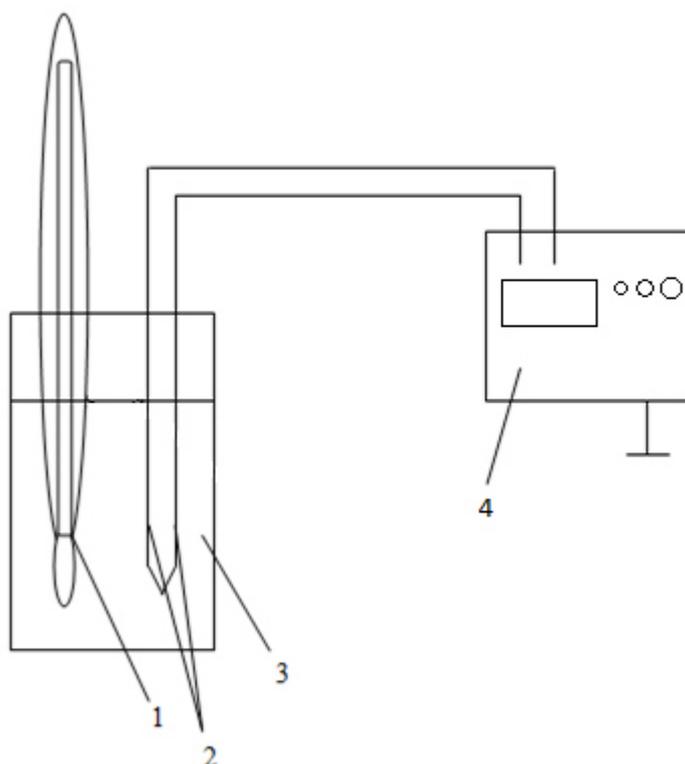


Рис. 2. Схема установки: 1 – термометр, 2 – исследуемые металлы, 3 – емкость с водой, 4 – мультиметр.

5. Результаты и обработка полученных данных

На Рис. 3, приведены результаты зависимости разности потенциалов контакта для различных пар металлов, соединенные посредством скрутки, в зависимости от температуры. Температура отложена по оси абсцисс, а ось ординат соответствует измеренным показаниям контактной разности потенциалов. Для всех измеренных пар металлов зависимость напряжения от температуры имеет линейный вид, с точностью до погрешности измерений.

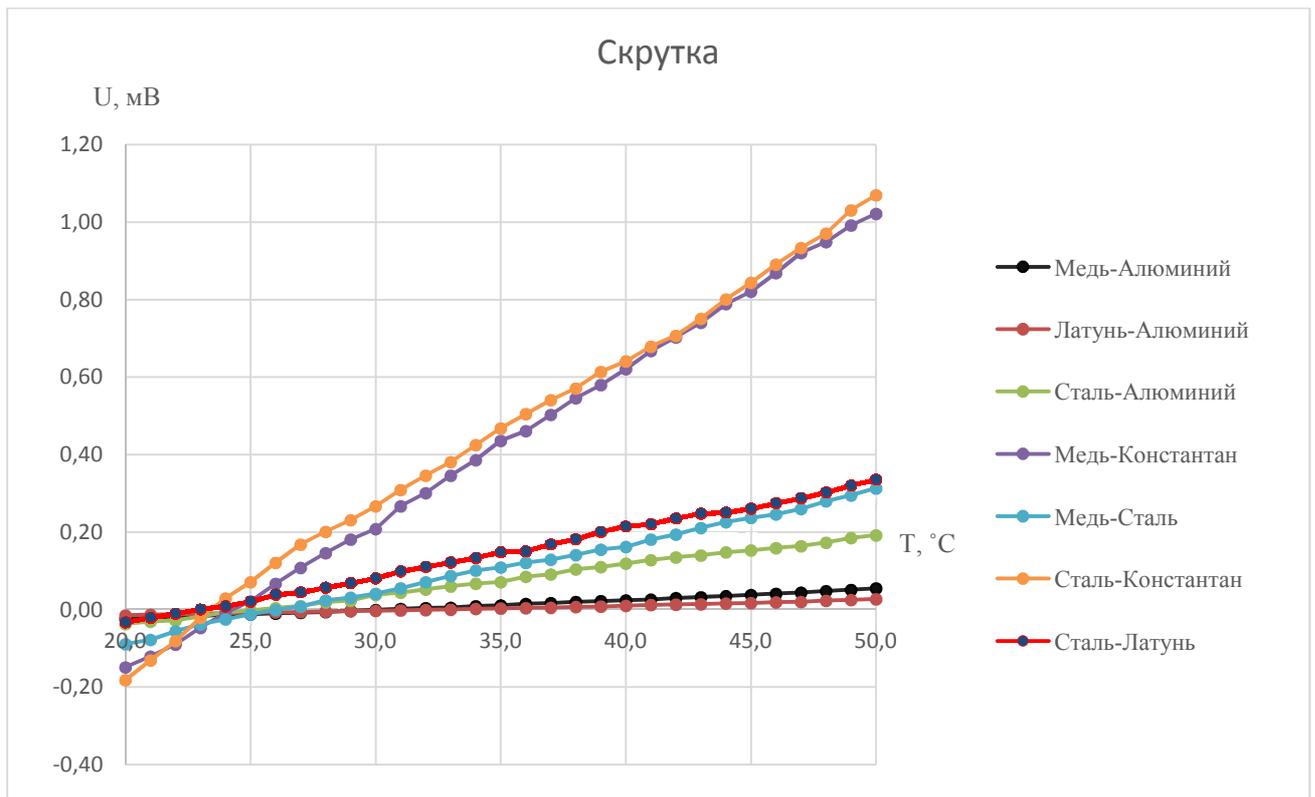


Рис. 3. Зависимость контактной разности потенциалов пар, соединенных посредством скрутки, от температуры.

Из приведенных данных можно заметить, что зависимости имеют линейный вид. Для пары латунь-алюминий коэффициент температурной чувствительности оказался наименьшим и равным 0,0014 мВ/град. Малые значения контактной разности потенциалов наблюдаются у пар, в которых один из металлов алюминий.

Наибольшие ЭДС достигаются в парах, в которых присутствует константан. Это может быть связано с тем, что в данном сплаве находится около 40% никеля, который так влияет на данные результаты. Коэффициент температурной чувствительности для пары сталь-константан оказался равным 0,042 мВ/град, для пары медь-константан 0,038 мВ/град. Интересно то, что пары со сплавами меди имеют более высокий показатель контактной разности потенциала, чем у пары с алюминием. Это может объясняться химическим составом как стали, так и парных ему металлов. Также стоит отметить то, что

все пары достигают значения 0,000 мВ примерно при одинаковой температуре (в диапазоне от 23°C до 26°C).

Поскольку медь и алюминий являются мягкими металлами, контакт между этими металлами происходит не непосредственно между двумя металлами, а через оксидные пленки на их поверхностях. Присутствующий на проволоках оксидный слой будет препятствовать переходу электронов из одного металла в другой, из-за чего контактная разность потенциалов будет иной, нежели чем для чистых металлов, из-за чего возникнет погрешность измерения.

На Рис. 4, приведены результаты зависимости разности потенциалов контакта для различных пар металлов, соединенные посредством сварки, в зависимости от температуры.

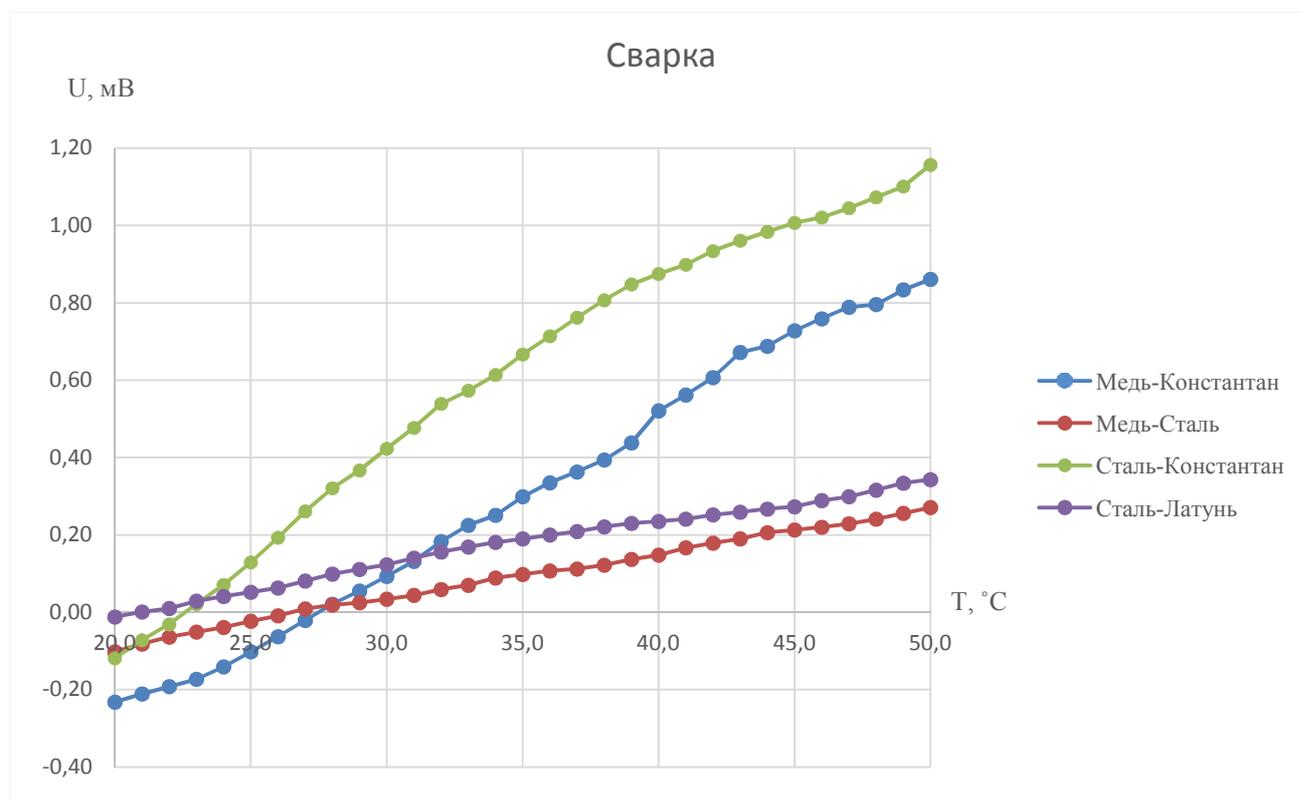


Рис. 4. Зависимость контактной разности потенциалов пар при приведении в контакт с помощью сварки.

Сварка обеспечивает более надежный контакт двух металлов, в отличие от скрутки, при которой контактируют не только металлы, но и, например, образовавшиеся на них оксидные пленки, что мешает электронам переходить из одного металла в другой. Из полученных данных видно, что «иерархия» металлов по контактной разности потенциалов сохранилась, но данные существенно изменились. Также стоит заметить то, что при сварке, диапазон температур, при которых ЭДС достигает 0,000 мВ, существенно увеличился, по сравнению с парами, приведёнными в контакт методом скрутки.

На Рис. 5-8, приведены результаты зависимости контактной разности потенциалов в зависимости от температуры для одинаковых пар металлов, соединенных посредством скрутки и сварки.

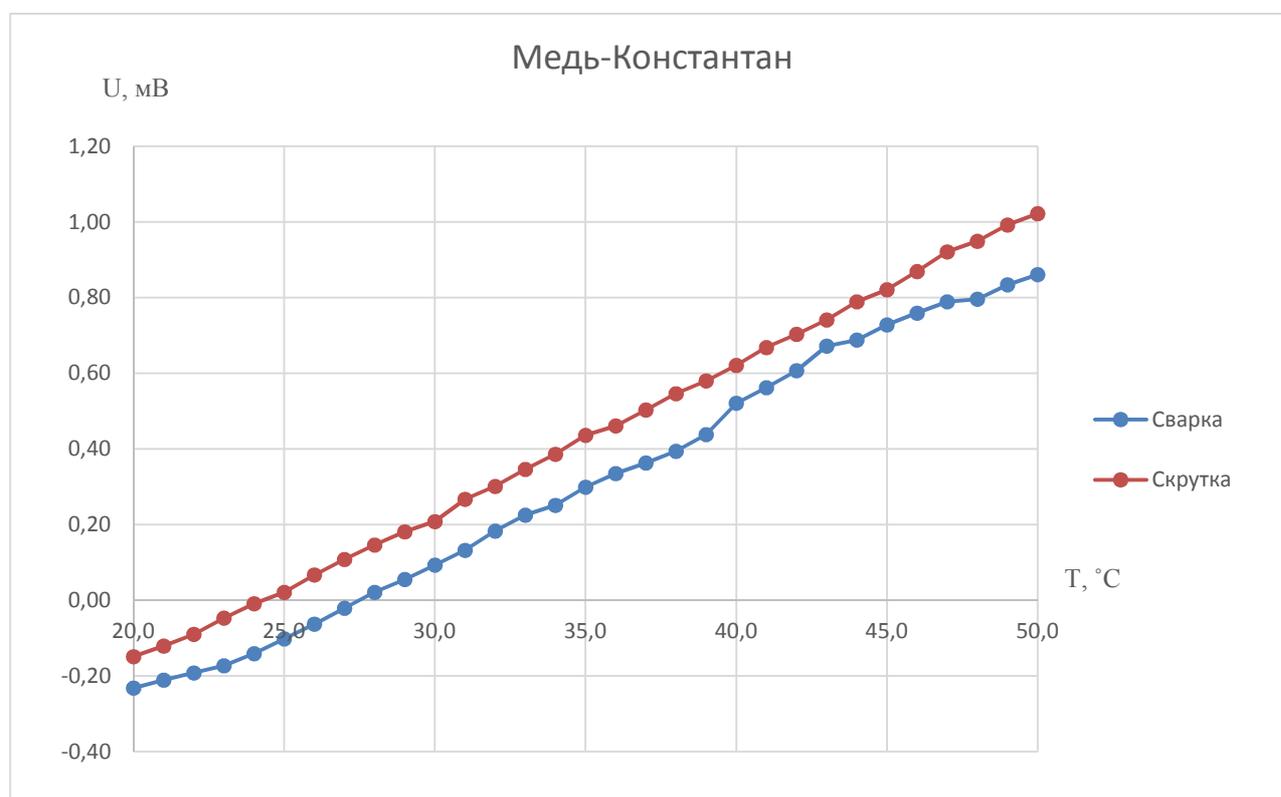


Рис. 5. Зависимость контактной разности потенциалов пары медь-константан.

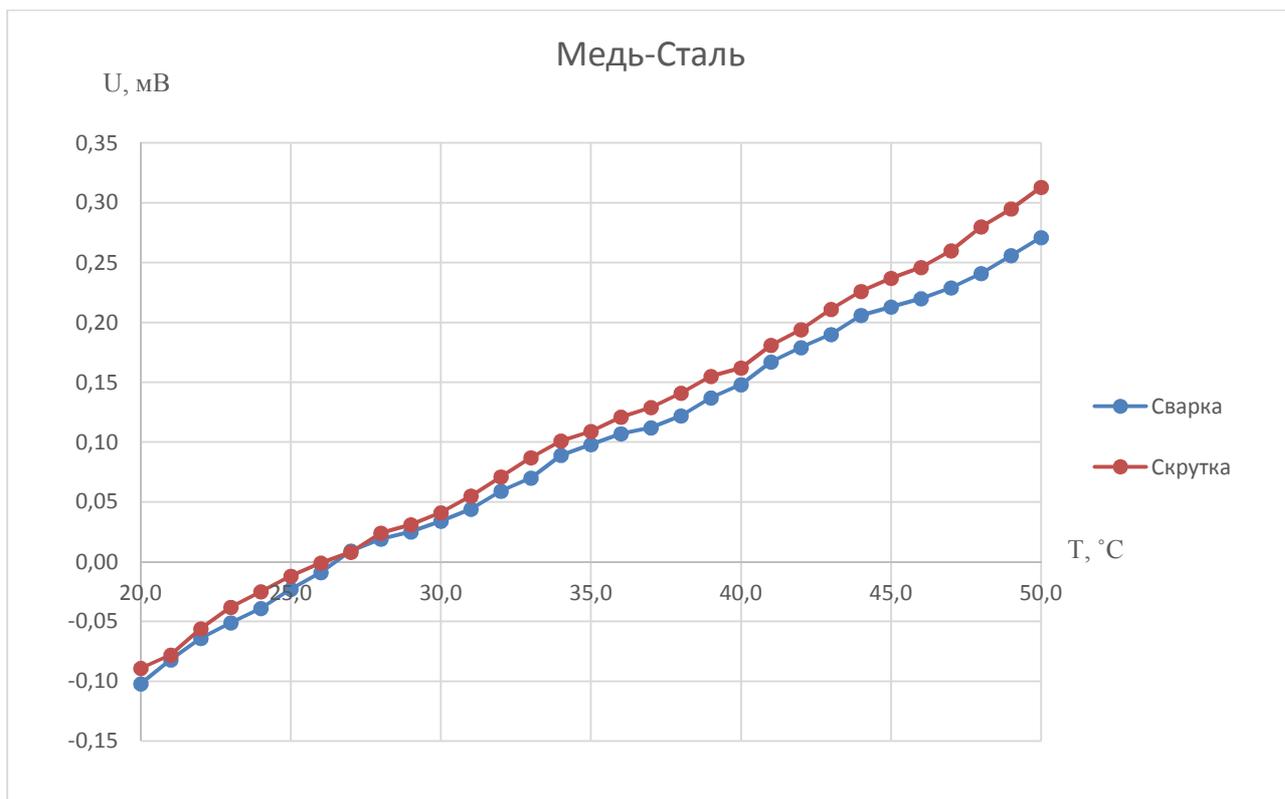


Рис. 6. Зависимость контактной разности потенциалов пары медь-сталь.

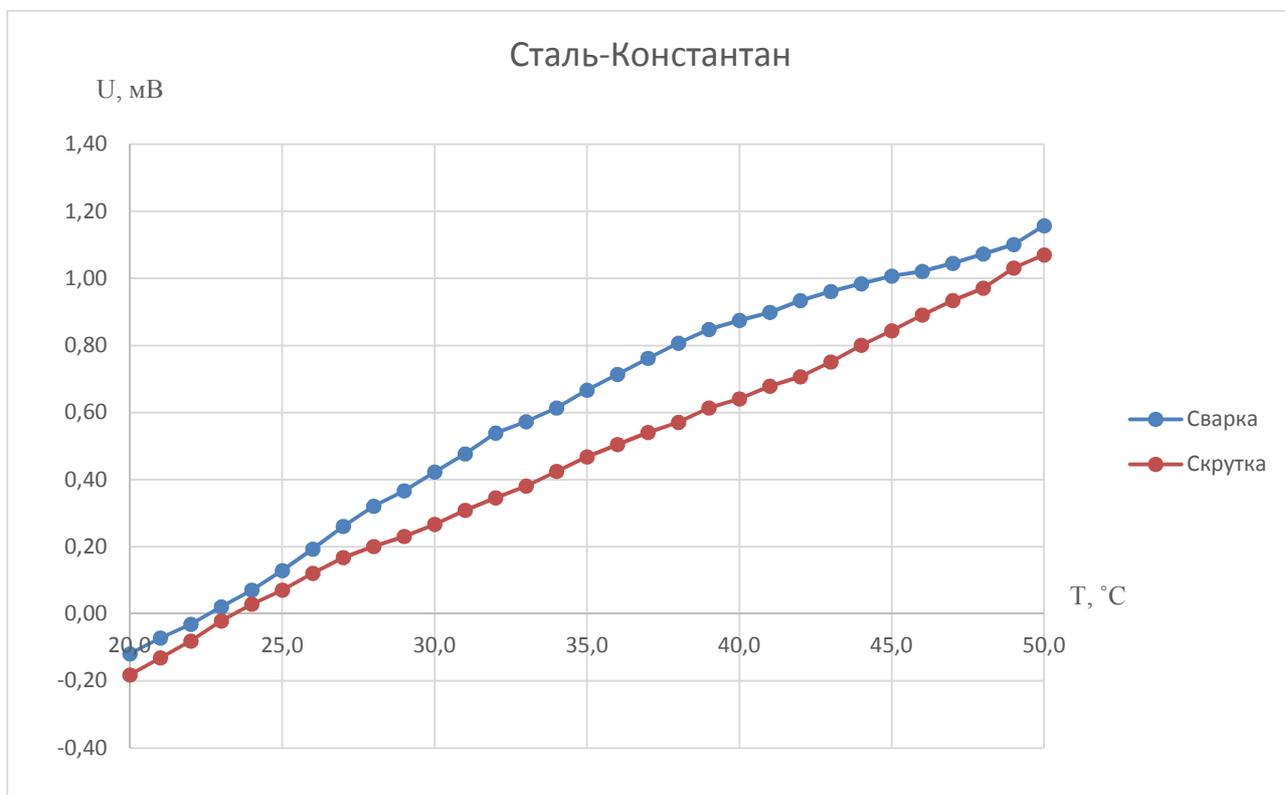


Рис. 7. Зависимость контактной разности потенциалов пары сталь-константан.

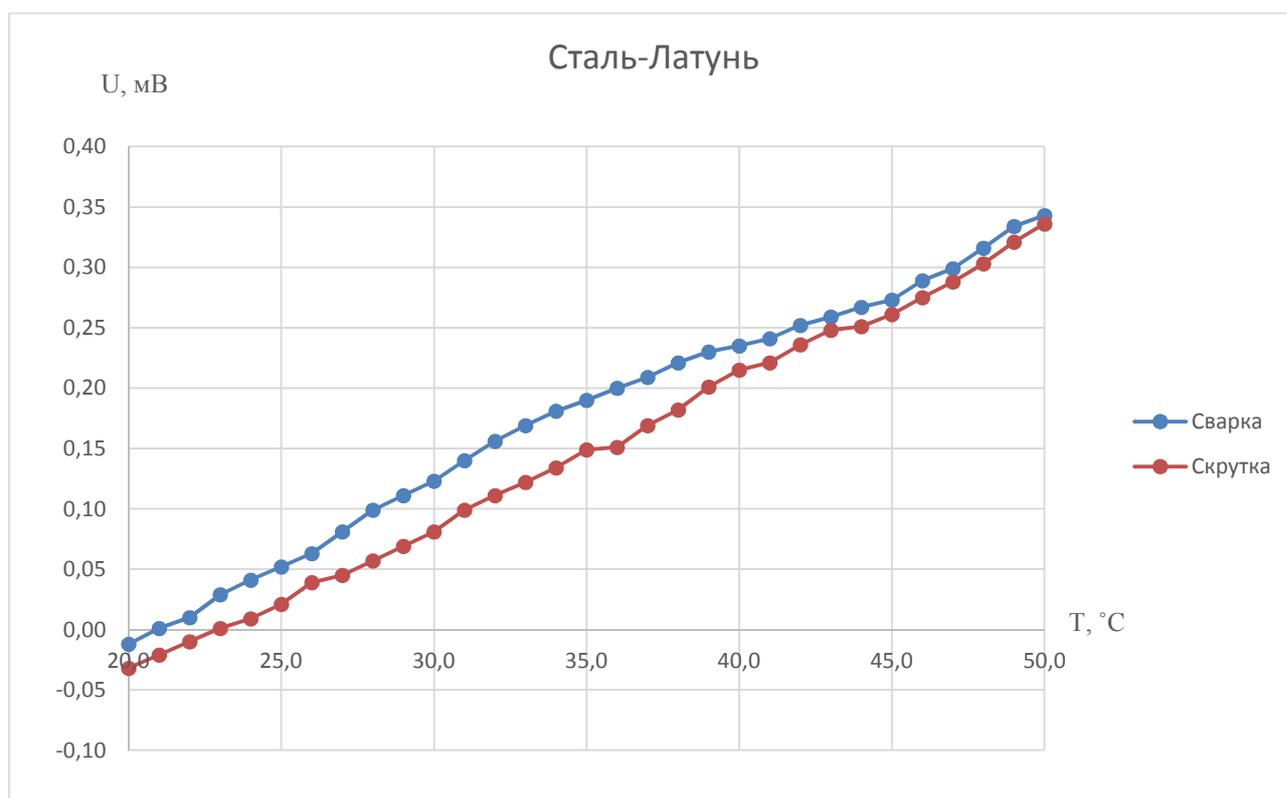


Рис. 8. Зависимость контактной разности потенциалов пары сталь-латунь.

Из полученных данных видно, что для пар сталь-константан и сталь-латунь контактная разность потенциалов достигается больше при сварке, чем при скрутке. Для пар медь-константан и медь-сталь, наоборот, при сварке достигается более низкая разность потенциала контактов. Поэтому из приведённых данных нельзя точно сказать, что при сварке ЭДС уменьшается или увеличивается. Вероятно, это зависит от качества сварки, свойств металлов и других факторов. Для обоснования полученных зависимостей требуется более углублённое изучение данных явлений.

6. Вывод

В работе представлены результаты экспериментального исследования контактной разности потенциалов при контакте металлов различного типа. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Изучено явление контактной разности потенциалов, а также методика измерения ЭДС малой величины.
2. Продемонстрирована зависимость контактной разности потенциалов от температуры имеет линейный вид.
3. Показано, что пары с константаном дают наибольшие показатели контактной разности потенциалов, а пары с алюминием – наименьшие.
4. Получен примерный диапазон температур, при котором ЭДС обращается в нуль.
5. Получены зависимости величин контактной разности потенциалов от температуры для одинаковых пар металлов, приведенных в контакт разными способами.
6. Отмечено, что зависимость ЭДС от способа соединения двух образцов требует более углублённого исследования.

7. Список литературы

1. Д.В.Сивухин. Общий курс физики. Т.III Электричество. М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2004. - 656 с.
2. Р.Г. Геворкян. Курс физики. Москва. Высшая школа. 1979. 656 с.
3. Мультиметр Agilent 34401A. Инструкция для пользователя // Agilent Technologies Inc. отпечатано в Малайзии, 2003. 236 стр.
4. Б.А.Князев, В.С.Черкасский. Начала обработки экспериментальных данных. Электронный учебник и программа обработки данных для начинающих: Учебное пособие. Новосиб. ун-т. Новосибирск, 1996. 93 с.
5. А.Д. Косинов и др. АСНИ ИТПМ. Подсистема Т-325. Локальная автоматизированная система экспериментальных исследований. – Новосибирск, 1990. – 28 с.