

**Автономная некоммерческая общеобразовательная организация  
«Физтех-лицей» имени П. Л. Капицы**

**XX научно-практическая  
конференция**

**«Старт в инновации»**

**Исследование различных материалов для использования в качестве  
предохранителя**

**Выполнили:**

**Мосолов Артем**

**Волдеев Владимир**

**Калюжный Михаил**

**ученики 8 класса**

**Руководитель: Зворыгина Е.С.**

**г. Долгопрудный**

**2021 г.**

## Оглавление

Введение	3
1. Короткое замыкание	5
1.1. Виды коротких замыканий	5
1.2. Причины возникновения коротких замыканий	5
1.3. Последствия коротких замыканий	6
2. Типы существующих предохранителей	7
2.1. Электромеханические предохранители	7
2.2. Электронные предохранители	7
2.3. Плавкие предохранители	8
2.4. Самовосстанавливающиеся предохранители	9
3. Физика процесса и теоретическое описание	10
3.1. Принцип работы плавкого предохранителя	10
3.2. Теоретическая модель	10
4. Практические результаты	12
Заключение	13
Список использованной литературы	14
Приложение	15

## Введение.

Возможно ли представить жизнь современного человека без электричества? XXI век назван веком технологий и информации. Мы живем в уютных квартирах с лампочками и приборами, которые облегчают жизнь, ежедневно пользуемся гаджетами, ездим на метро и электричках. Роботы доставляют продукты, а электромобили все чаще появляются на улицах. Невозможно представить жизнь современного человека без этого. У каждого прибора есть свои характеристики и нельзя допускать, чтобы приборы быстро выходили из строя. Многие устройства дороги в производстве и собирать их заново кажется трудозатратным процессом. Если же говорить о масштабных проектах, таких как заводы, то выход из строя хотя бы одного механизма может привести к парализации всего. Для этого в сложных устройствах используют предохранители. Электрический предохранитель – защитное устройство, которое размыкает электрическую цепь при превышении номинального тока в цепи. Номинальный ток – ток, на который рассчитан предохранитель.

Предохранители являются одним из важных электрических элементов для защиты цепей от перегрузки или перегрева, однако размер предохранителя может быть намного больше, чем сами элементы. Это приводит к тому, что в некоторых случаях мешает уменьшению размеров электронных систем. Другая проблема заключается в том, что для интеллектуальной системы требуется интеллектуальный предохранитель, который не только пассивно отключается при перегрузке или перегреве цепей, но и отключается в любой конкретной ситуации, контролируемой системами. Для уменьшения размера предохранителя используются разные методы, например, тонкопленочный микропредохранитель, с использованием метода селективного осаждения свинца, но он не является экологически чистым, поэтому устройства, не содержащие свинца, становятся все более актуальной тенденцией в электронной промышленности. Другие металлы с низкой температурой плавления, включая Sn, Bi, Cu, Ag и Al, широко используются для разработки плавких предохранителей. Плавкие предохранители срабатывают при слишком высокой температуре окружающей среды. Они сконструированы для срабатывания не от сильного тока, а исключительно от высокой температуры окружающей среды.

Предохранители из алюминия более совместимы с интегральными схемами, а также имеет относительно низкую температуру плавления по сравнению с другими металлами.

В рамках данной работы мы собрали провели исследование материалов, из которых изготавливаются существующие плавкие предохранители, а также исследовали применение новых металлов. В качестве предохранителя мы брали короткую проволоку, на которую подавали различное напряжение. Мы исследовали как постоянный, так и переменный токи.

**Цель:** провести сравнение различных материалов для использования в качестве предохранителя (медь, нихром, олово и др. металлы).

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи:**

1. Изучить принцип работы предохранителей и проанализировать существующие модели.

2. Определить какие материалы пригодны для использования в качестве предохранителя.
3. Определить параметры, влияющие на время перегорания такого предохранителя.
4. Экспериментально провести сравнение наших предохранителей.
5. Найти оптимальный материал и собрать свой предохранитель.

Актуальность данной работы заключается в том ежегодно происходит увеличение потребления энергии и вопрос энергетического обеспечения безопасности приобретает первостепенную важность.

## Глава 1. Короткое замыкание

Основная причина пожаров, связанных с нарушением правил устройства и эксплуатации электрооборудования - это короткое замыкание.

Опасность короткого замыкания заключается в увеличении силы тока на сотни тысяч ампер, из-за чего происходит выделение большого количества тепла в проводниках за очень короткий промежуток времени, что в свою очередь, приводит к резкому повышению температуры и воспламенению изоляции.

**Короткое замыкание** – электрическое соединение двух точек цепи с различными значениями потенциала, не предусмотренное конструкцией устройства и нарушающее его нормальную работу. Электрический потенциал - физическая величина, равная отношению работы по перемещению заряда из одной точки в другую, к величине этого заряда.

### 1.1. Виды коротких замыканий.

В трёхфазных электрических сетях различают следующие виды коротких замыканий

- однофазное (замыкание фазы на землю или нейтральный провод);
- двухфазное (замыкание двух фаз между собой);
- двухфазное на землю (две фазы между собой и одновременно на землю);
- трёхфазное (три фазы между собой)

В электрических машинах возможны короткие замыкания:

- межвитковые — замыкание между собой витков обмоток ротора или статора, либо витков обмоток трансформаторов;
- замыкание обмотки на металлический корпус.

### 1.2. Причины возникновения коротких замыканий.

Основной причиной возникновения коротких замыканий является нарушения изоляции электрооборудования.

**Нарушения изоляции вызываются:**

1. Перенапряжениями (особенно в сетях с изолированными нейтральными)
2. Прямыми ударами молнии
3. Старением изоляции
4. Механическими повреждениями изоляции, проездом под линиями негабаритных механизмов
5. Неудовлетворительным уходом за оборудованием.

### 1.3. Последствия коротких замыканий.

В результате возникновения короткого замыкания токоведущие части сильно перегреваются, что может привести к нарушению изоляции, а также возникновению больших механических усилий, способствующих разрушению частей электроустановок.

При этом нарушается нормальное электроснабжение потребителей в неповрежденных участках сети, так как аварийный режим короткого замыкания в одной линии приводит к общему снижению напряжения. В месте короткого замыкания напряжение становится равным нулю, а во всех точках до места короткого замыкания напряжение резко снижается, и нормальное питание неповрежденных линий становится невозможным.

При возникновении коротких замыканий в системе электроснабжения ее общее сопротивление уменьшается, что приводит к увеличению токов в ее ветвях по сравнению с токами нормального режима, а это вызывает снижение напряжения отдельных точек системы электроснабжения, которое особенно велико вблизи места короткого замыкания. Степень снижения напряжения зависит от работы устройств автоматического регулирования напряжения и удаленности от места повреждения.

В зависимости от места возникновения и продолжительности повреждения его последствия могут иметь местный характер или отражаться на всей системе электроснабжения.

При большой удаленности короткого замыкания величина тока короткого замыкания может составлять лишь незначительную часть номинального тока питающих генераторов и возникновение такого короткого замыкания воспринимается ими как небольшое увеличение нагрузки.

Сильное снижение напряжения получается только вблизи места короткого замыкания, в то время как в других точках системы электроснабжения это снижение менее заметно. Следовательно, при рассматриваемых условиях опасные последствия короткого замыкания проявляются лишь в ближайших к месту аварии частях системы электроснабжения.

Ток короткого замыкания, являясь даже малым по сравнению с номинальным током генераторов, обычно во много раз превышает номинальный ток ветви, где произошло короткое замыкание. Поэтому и при кратковременном протекании тока короткого замыкания он может вызвать дополнительный нагрев токоведущих элементов проводников выше допустимого.

Токи короткого замыкания вызывают между проводниками большие механические усилия, которые особенно велики в начале процесса короткого замыкания, когда ток достигает максимального значения. При недостаточной прочности проводников и их креплений могут иметь место разрушения механического характера.

## Глава 2. Типы существующих предохранителей.

**Предохранитель** — электрический прибор, предназначенный для защиты электрической цепи посредством ее размыкания, если ток протекающий в ней превышает номинальный.

Предохранители подразделяются на плавкие, электронные, электромеханические и самовосстанавливающиеся.

Для выбора оптимального типа предохранителя мы решили рассмотреть их принципы работы, преимущества и недостатки.

### 2.1. Электромеханические предохранители.

**Электромеханический предохранитель** — электрический механический аппарат, способный проводить и отключать токи при превышении номинального значения силы тока в цепи.

**Принцип работы:** в электромеханических предохранителях стоит датчик, который измеряет значение силы тока и когда превышает ее номинальное значение предохранитель размыкает контакты и останавливает ток, следовательно, короткого замыкания не происходит.

#### Преимущества:

1. Многообразие использования. После срабатывания и падения силы тока до нормального значения предохранитель восстановит проводимость.
2. Можно выставить очень точное номинальное значение силы тока, при которой предохранитель сработает, благодаря этому удобен в работе с маленькими токами.

#### Недостатки:

1. Сложное строение предохранителя, при поломке одной детали перестает работать вся система.
2. Не может работать в широком диапазоне температур, велика вероятность поломки датчика силы тока.

### 2.2. Электронные предохранители.

**Электронный предохранитель** — электрический аппарат, проводящий ток и отключающий его при помощи бесконтактных ключей при превышении номинального значения силы тока в цепи.

**Принцип работы:** электронные предохранители содержат бесконтактный ключ, который управляется специальной электронной схемой. Когда происходит скачок силы тока, схема сигнализирует ключу, что надо разомкнуть сеть.

### **Преимущества:**

1. Очень быстрое время срабатывания (не превышает 30 миллисекунд).
2. Точные значения номинального тока.

### **Недостатки:**

1. Сложная схема сборки.
2. Небольшой диапазон рабочих температур.

## **2.3. Плавкие предохранители.**

**Плавкий предохранитель** — устройство, состоящее из одного или нескольких электрических проводников, которые при превышении номинального значения силы тока в цепи плавятся и соответственно размыкают цепь.

**Принцип работы:** плавкий предохранитель является самым слабым участком защищаемой электрической цепи, плавящимся в аварийном режиме, тем самым разрывая цепь и предотвращая последующее разрушение более ценных элементов электрической цепи высокой температурой, вызванной чрезмерными значениями силы тока.

### **Преимущества:**

1. Безотказность срабатывания. Грамотно выбранный предохранитель в качественном аппарате защиты обеспечивает гарантированное срабатывание и отключение поврежденного элемента.
2. Быстродействие. Такие предохранители обеспечивают наибольшую скорость срабатывания.
3. Простота конструкции. Из-за более простой конструкции чем у электромеханических предохранителей, почти исключена возможность поломки и такой предохранитель можно сделать своими руками.
4. Возможность работы почти при любых условиях. От значения температуры будет меняться лишь время плавления такого предохранителя, которое можно просчитать теоретически.

### **Недостатки:**

1. Одноразовость применения. После плавки проводника требуется замена.
2. Возможны повреждения вышестоящих защитных предохранителей. В случае, когда система защищена предохранителями разного номинала на различных уровнях, при возникновении короткого замыкания и срабатывании



предохранителя нижнего уровня, повреждения (оплавления) получает и вышестоящая плавкая вставка. В данной ситуации требуется замена всего каскада плавких вставок.

#### **2.4. Самовосстанавливающиеся предохранители.**

**Самовосстанавливающийся предохранитель** — полимерное устройство с положительным температурным коэффициентом сопротивления, применяемое в защите электронной аппаратуры.

**Принцип работы:** при превышении номинального тока резко увеличивается сопротивление предохранителя, что практически останавливает ток в цепи.

В самовосстанавливающихся предохранителях, при превышении номинального тока электрическое сопротивление полупроводникового материала токопроводящего элемента очень сильно растет, что снижает ток цепи, после возвращения силы тока к нормальному значению и охлаждения токопроводящего элемента его сопротивление восстанавливается.

##### **Преимущества:**

1. Многоразовость. Сопротивление восстанавливается после возвращения тока к нормальному значению.
2. Небольшой размер относительно других видов предохранителей.

##### **Недостатки:**

1. Для работы предохранитель должен нагреться, что требует дополнительного времени.
2. Не работает при низких токах. Для начала проведения тока, он должен достигать определенного минимального значения.
3. Узконаправленность по причине долгого времени срабатывания. Из первого недостатка вытекает главный - долгое время срабатывания. Именно по этой причине данный вид предохранителей не получил должного распространения.

Мы составили сравнительную таблицу плюсов и минусов разных типов предохранителей и определили наилучший для любительского использования. (См. приложение 1).

Исходя из данных таблицы, самыми простыми в реализации и подходящими для любых условий из выше представленных предохранителей оказались плавкие. Также на их выбор повлияло низкое время срабатывания. Мы решили изучить какие материалы являются наиболее пригодными для использования в качестве плавких предохранителей, а также какие характеристики проволоки играют ключевую роль для использования в качестве предохранителя.

## Глава 3. Физика процесса и теоретическое описание

### 3.1 Принцип работы плавкого предохранителя.

1. В обычном состоянии, когда по предохранителю течет ток меньше номинального он греется, но не плавится.
2. Когда ток начинает превышать номинальный предохранитель начинает плавиться.
3. В некоторый момент плавления молекулам проводника становится выгоднее отцепиться, чем продолжать поддерживать связь и цепь разрывается.

### 3.2. Теоретическая модель.

Для расчета времени срабатывания плавкого предохранителя, находящегося при температуре плавления в момент возникновения короткого замыкания мы составили следующую формулу:

$$Q_1 = m\lambda. \quad (1)$$

$$t = \frac{Q_1}{P}.$$

Где:

$t$  – время плавления проволоки.

$m$  – масса проволоки.

$\lambda$  – удельная теплота плавления проволоки.

$P$  – мощность.

Мощность в данном случае записывается с помощью закона Джоуля-Ленца, закона теплопроводности Фурье и закона Ома:

Постоянный ток:

$$P = I^2 R - \beta \frac{\pi r^2 (T - T_{\text{среды}})}{l} \rightarrow P = \frac{U^2}{R} - \beta \frac{\pi r^2 (T - T_{\text{среды}})}{l}. \quad (2)$$

$U$  – напряжение в цепи.

$R$  – сопротивление в цепи.

$\beta$  – коэффициент теплопроводности Фурье.

$r$  – радиус проволоки.

$l$  – длина проволоки.

$T$  – температура проволоки.

Переменный ток:

Для переменного тока, ввиду его природы, свойственно, что действительное значение тока и напряжения в  $\sqrt{2}$  раз меньше его амплитуды.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (3)$$

Тогда:

$$P = \frac{U^2}{R} - \beta \frac{\pi r^2 (T - T_{\text{среды}})}{l} \rightarrow P = \frac{U_m^2}{2R} - \beta \frac{\pi r^2 (T - T_{\text{среды}})}{l}. \quad (4)$$

$U_m$  – амплитуда напряжения.

Также важным является то, что сопротивление проводника зависит от его температуры. Тогда формула будет выглядеть так:

Постоянный ток:

$$P = \frac{U^2}{R + R_x(1 + \alpha(T - T_x))} - \beta \frac{\pi r^2 (T - T_{\text{среды}})}{l}. \quad (5)$$

$R$  – добавочное сопротивление.

$R_x$  – сопротивление проводника при температуре  $x$  градусов Цельсия.

$\alpha$  – тепловой коэффициент сопротивления.

Переменный ток:

$$P = \frac{U_m^2}{2(R + R_x(1 + \alpha(T - T_x)))} - \beta \frac{\pi r^2 (T - T_{\text{среды}})}{l}. \quad (6)$$

## Глава 4. Практические результаты.

Для экспериментов мы взяли проволоки из разных материалов, отличающиеся по диаметру и длине. В качестве материалов были выбраны: нихром, медь и сплав свинца с оловом. В качестве объекта, который у нас служил датчиком «хорошей работы» предохранителя, мы использовали светодиод.

### Нихромовая проволока.

Нихром - это сплав из никеля и хрома с добавлением марганца, кремния, железа, алюминия. Температура плавления этого металла может достигать 1400°C, и выдерживать температуры в окислительной среде до 1250°C. Нихром также обладает большим удельным сопротивлением,  $1,1 * 10^{-6} \frac{\text{Ом*мм}^2}{\text{м}}$ . Основным достоинством такого предохранителя стало то, что он выдерживает достаточно большое напряжение (экспериментально получено, что порядок величины 40 В). Благодаря большому сопротивлению при добавлении в цепь, ток уменьшается в сети и это приводит к тому, что приборы живут дольше. В качестве недостатков мы выделили следующее: так как металл тугоплавкий, то быстрого размыкания цепи не происходит, поэтому прибор может прийти в неисправное состояние.

### Медная проволока.

В качестве металла в противовес мы использовали медь. Она имеет низкое удельное сопротивление,  $1,7 * 10^{-8} \frac{\text{Ом*мм}^2}{\text{м}}$ . Поэтому медь не подходит для высокого напряжения, при резком скачке наблюдается мгновенный разрыв цепи, и схема будет не рабочей. Предохранитель из такого материала выдерживает до 20 В.

### Сплав свинца и олова.

А сплав олова и свинца, был выбран, ввиду его низкой температуры плавления (200°C). Такая конструкция оказалась неудачной, потому что данный предохранитель выходил из строя практически мгновенно.

Для экспериментов была собрана цепь, состоящая из источника и резистора(предохранителя).

Для оценки времени перегорания предохранителя мы записывали данный процесс на видеокамеру с частотой дискретизации 60 Гц.

Некоторые изображения процесса плавления проволок представлены в приложении 2.

Результаты сравнения теории и эксперимента представлены в приложении 3.

## **Заключение.**

После проведенных вычислений и сравнений (см. прил.), мы подтвердили нашу гипотезу. Поэтому мы решили предложить любителям радиотехники использовать в качестве простых и доступных предохранителей для своих цепей медные проволоки. Мы решили систематизировать выбор и помочь выбрать длину и диаметр проволоки, составив таблицу. (см. прил.) Для таблицы мы выбрали основные значения напряжения и силы тока, используемые в любительской радиотехнике. Геометрические характеристики проволоки подбирались под достаточно быстрое время плавления, достаточное для защиты компонентов цепи.

1. Мы определили и сравнили материалы, которые пригодны для использования в качестве предохранителя. В результате, выяснили, что олово является малопригодным материалом для использования в качестве предохранителя, так как, из-за своей низкой температуры плавления не дает пускать по цепи большие токи, нихром в свою очередь малопригоден для низковольтных систем, из-за долгого времени плавления, медь же в свою очередь наиболее пригодна для использования в качестве предохранителя из представленных материалов.
2. Мы выяснили, что на время перегорания такого предохранителя влияют такие параметры, как материал, площадь поперечного сечения, длина проволоки.
3. Мы предложили таблицу, помогающую человеку, собирающему свою электрическую схем подобрать необходимый ему простой предохранитель в виде проволоки (см. прил. 4).

## Список использованной литературы

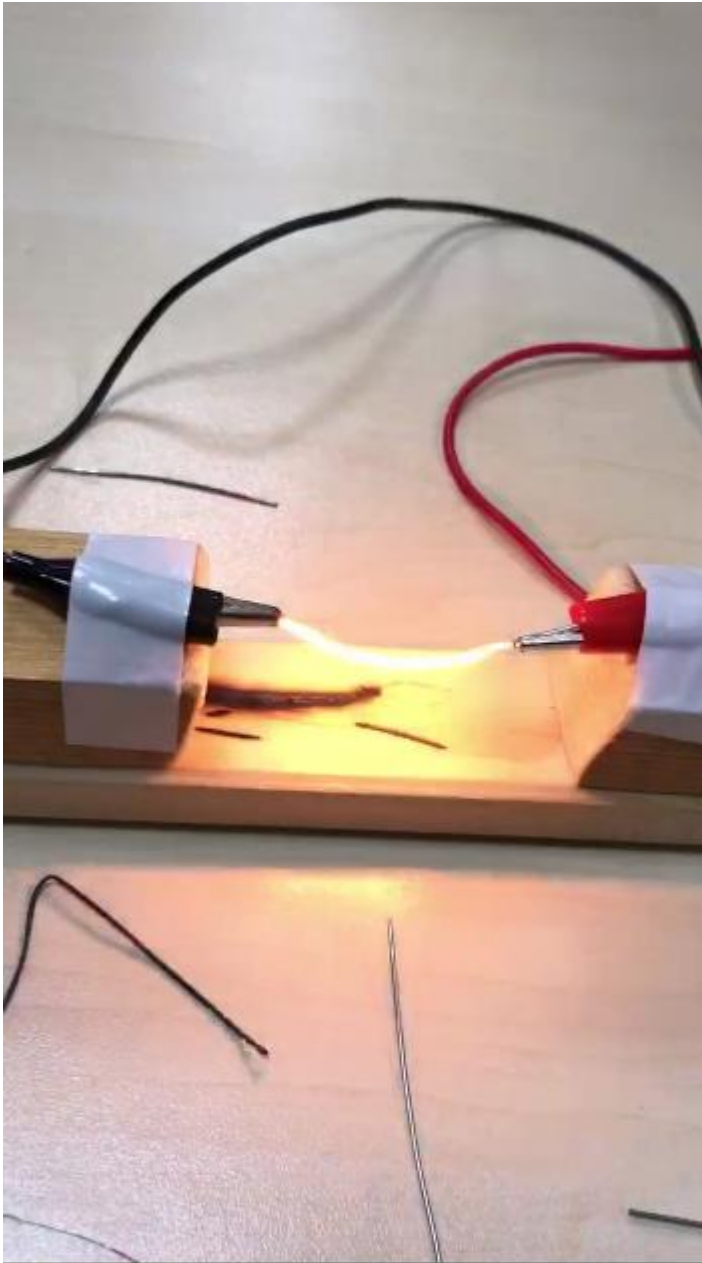
1. Плавкий предохранитель — статья из Большой советской энциклопедии.
2. Эйхенвальд А. А. Электричество. — М. : Государственное технико-теоретическое издательство, 1933
3. Л. А. Родштейн «Электрические аппараты», Л. «Энергоиздат», 1981 г.
4. Голубев М. Л. Расчет токов короткого замыкания в электросетях 0,4-35 кВ. — М. : Энергия, 1980
5. <https://iypt.ru/wp-content/uploads/2020/10/A-controllable-IC-compatible-thin-film-fuse-realized-using-electro-explosion.pdf> Интернет-ресурс
6. <https://iypt.ru/wp-content/uploads/2020/10/Control-of-Electrical-and-Thermal-Properties-on-Sn%20AD50Zn-Alloy.pdf> Интернет-ресурс
7. <https://iypt.ru/wp-content/uploads/2020/10/The-use-of-low-voltage-current-limiting-fuses-to-reduce-arc-flash-energy.pdf> Интернет-ресурс
8. <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=617701> Интернет-ресурс
9. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический\\_предохранитель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Электрический_предохранитель) Интернет-ресурс
10. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматический\\_выключатель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматический_выключатель) Интернет-ресурс
11. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Самовосстанавливающийся\\_предохранитель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Самовосстанавливающийся_предохранитель) Интернет-ресурс
12. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Плавкий\\_предохранитель](https://ru.wikipedia.org/wiki/Плавкий_предохранитель) Интернет-ресурс

## Приложение

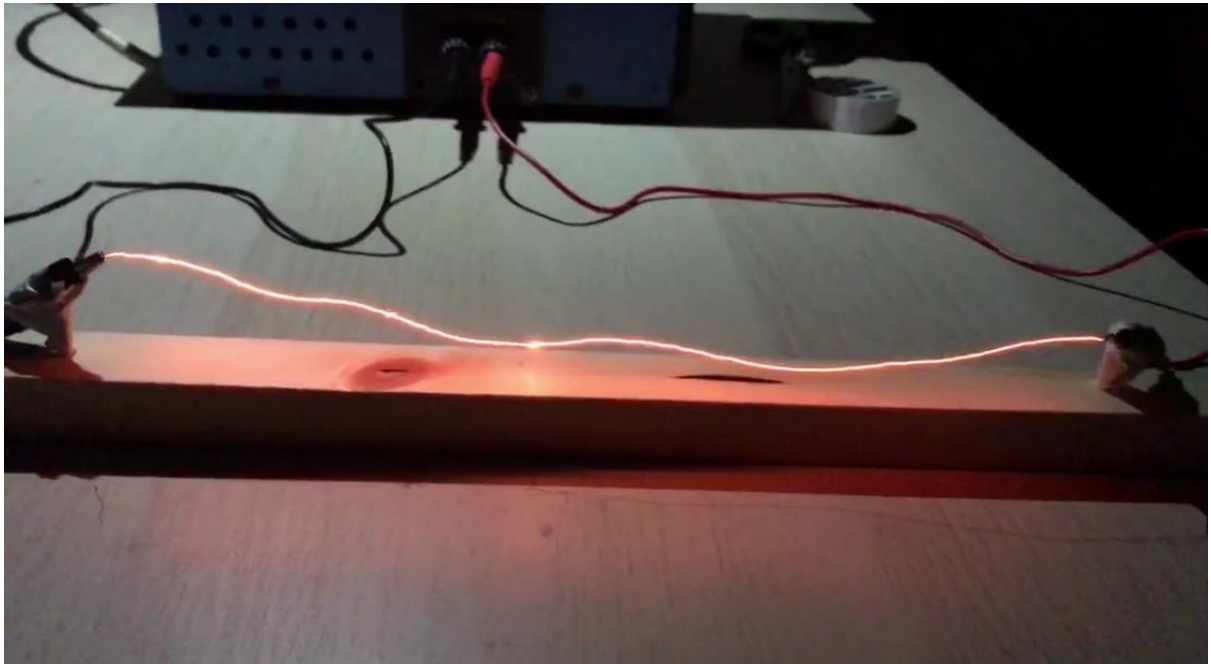
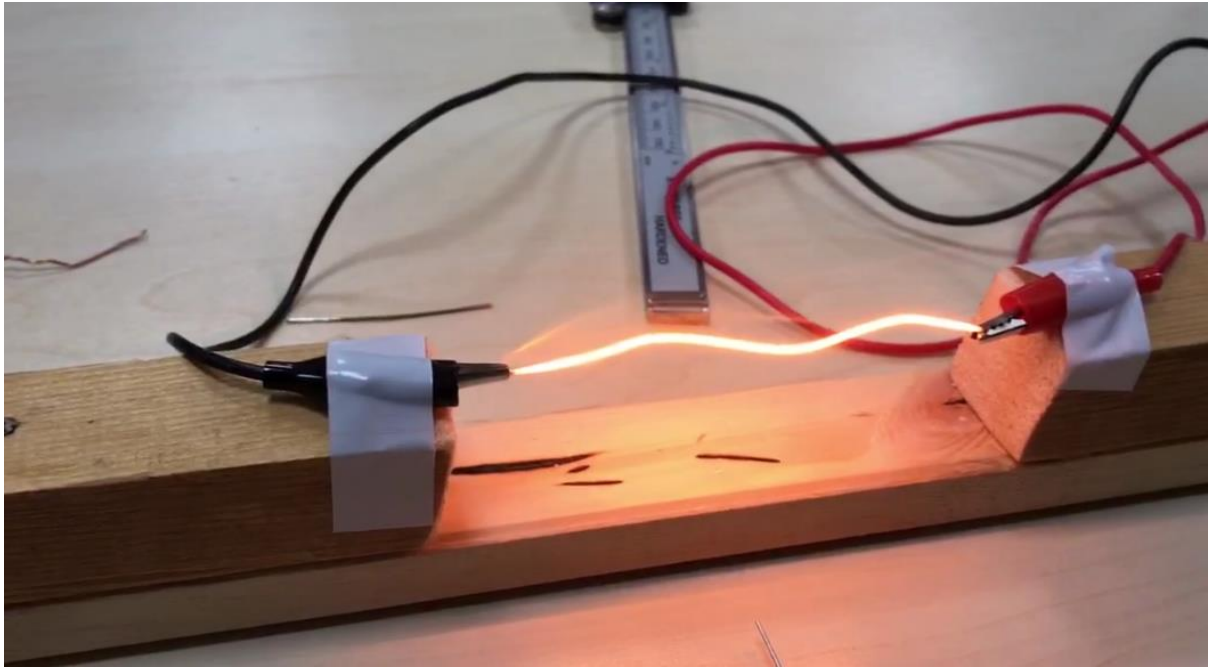
Приложение 1. Сравнительная таблица положительных и отрицательных сторон разных типов предохранителей.

	механические предохранители	электронные предохранители	полупроводниковые предохранители	стационарные предохранители
изготовления	устройство из малых компонентов.	электронная	создание из провода проволоки.	полимер и технический углерод.
работы	температуры меньше но больше $-5^{\circ}\text{C}$ применяются для работы датчика (а).	температуры до $90^{\circ}\text{C}$ .	температуры температуры я ка.	температуры меньше $80^{\circ}\text{C}$ .
обслуживания	несколько секунд.	выше 30 секунд.	несколько секунд до несколько секунд.	несколько секунд.

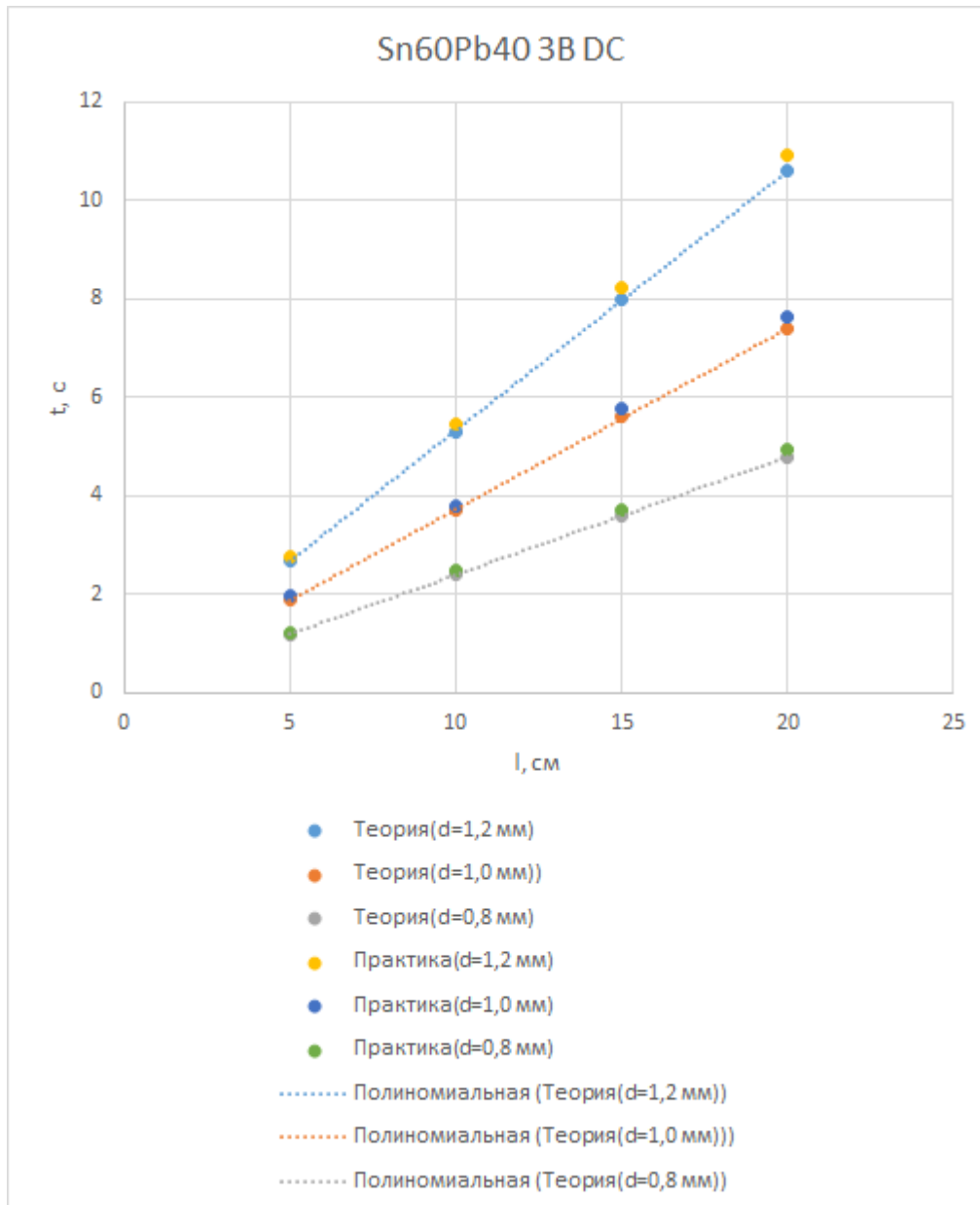
Приложение 2. Изображения процесса плавления проволоки.



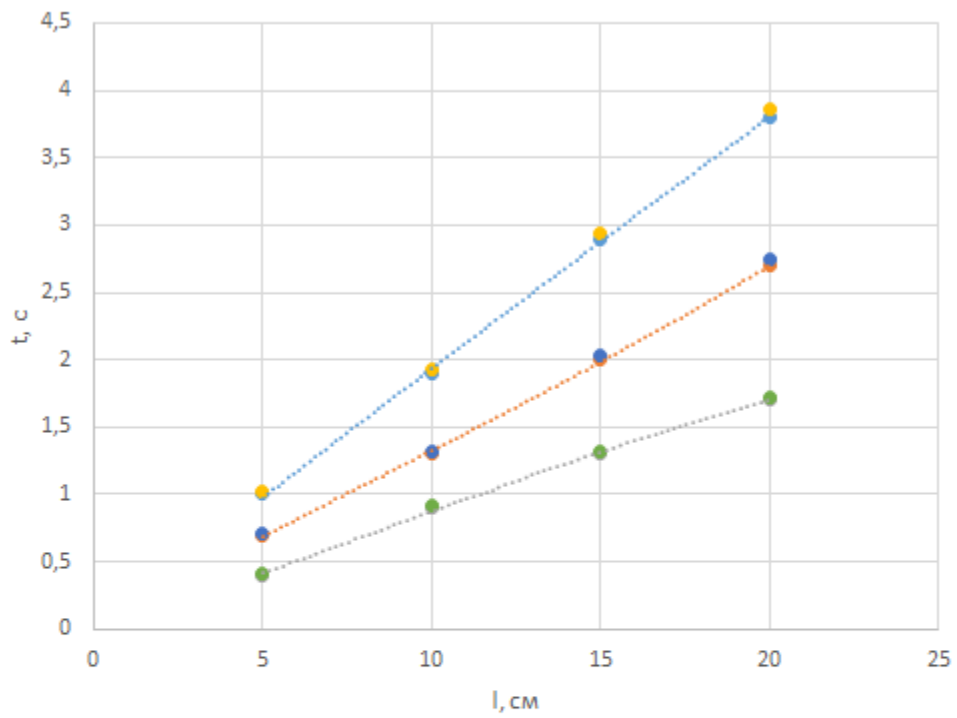




Приложение 3. Сравнение теории и эксперимента. В названии графика указаны: название сплава (Sn60Pb40, Cu, Cr20Ni80), напряжение (3В, 5В, 12В, 14В), (для переменного тока указана амплитуда напряжения), тип тока (АС, DC).

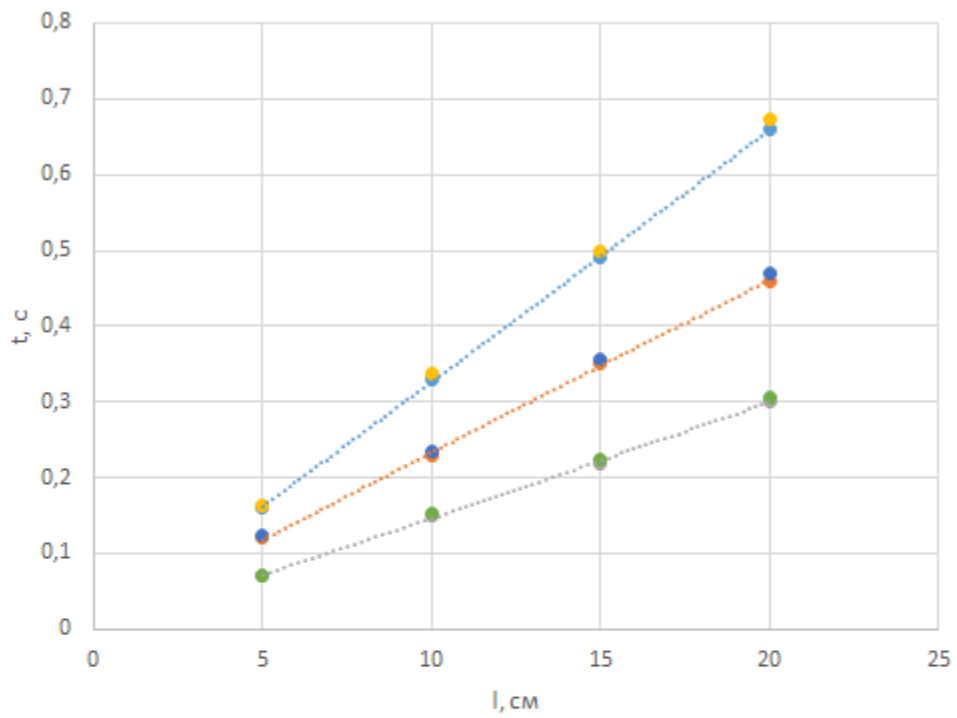


### Sn60Pb40 5B DC

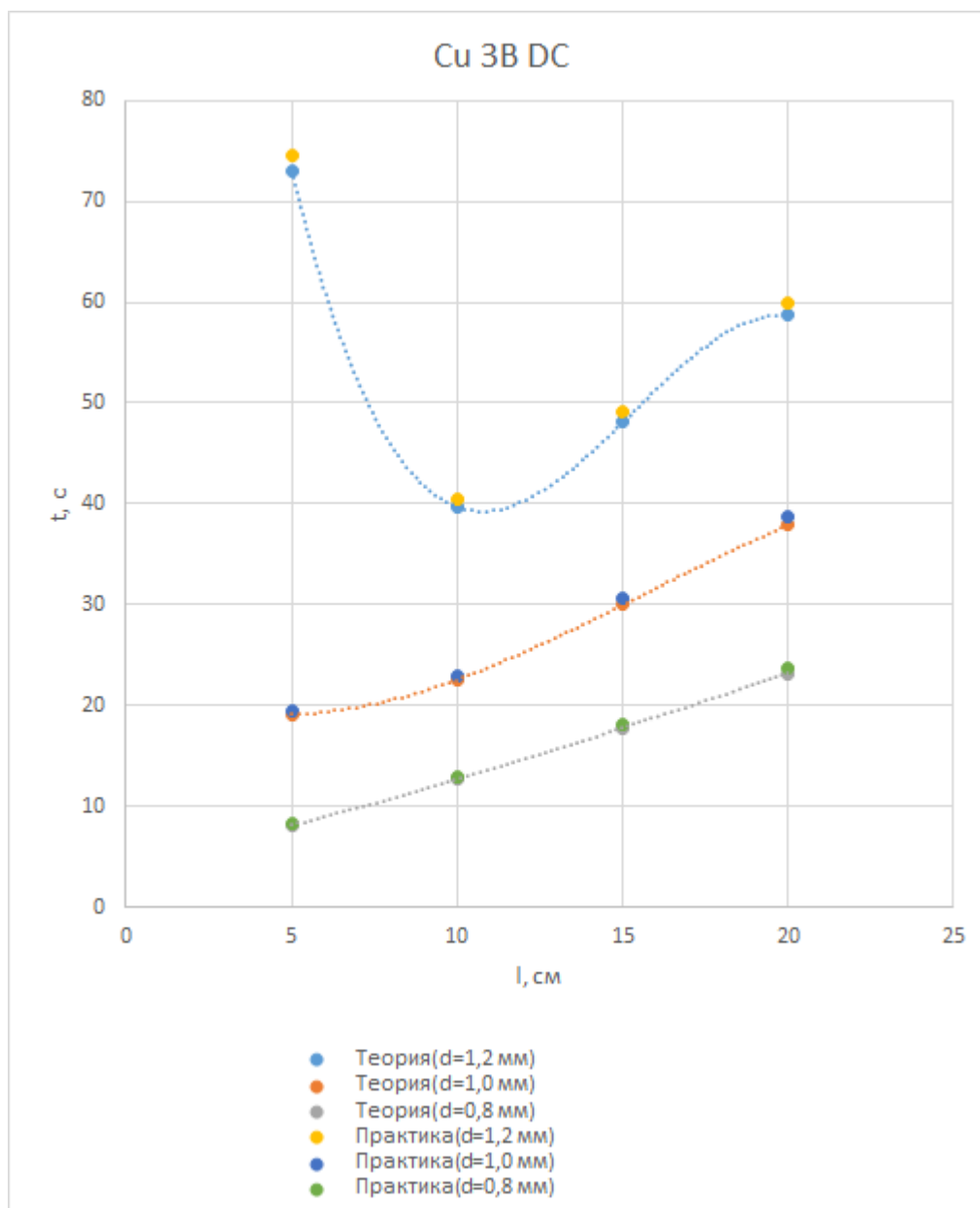


- Теория(d=1,2 мм)
- Теория(d=1,0 мм)
- Теория(d=0,8 мм)
- Практика(d=1,2 мм)
- Практика(d=1,0 мм)
- Практика(d=0,8 мм)
- ..... Полиномиальная (Теория(d=1,2 мм))
- ..... Полиномиальная (Теория(d=1,0 мм))
- ..... Полиномиальная (Теория(d=0,8 мм))

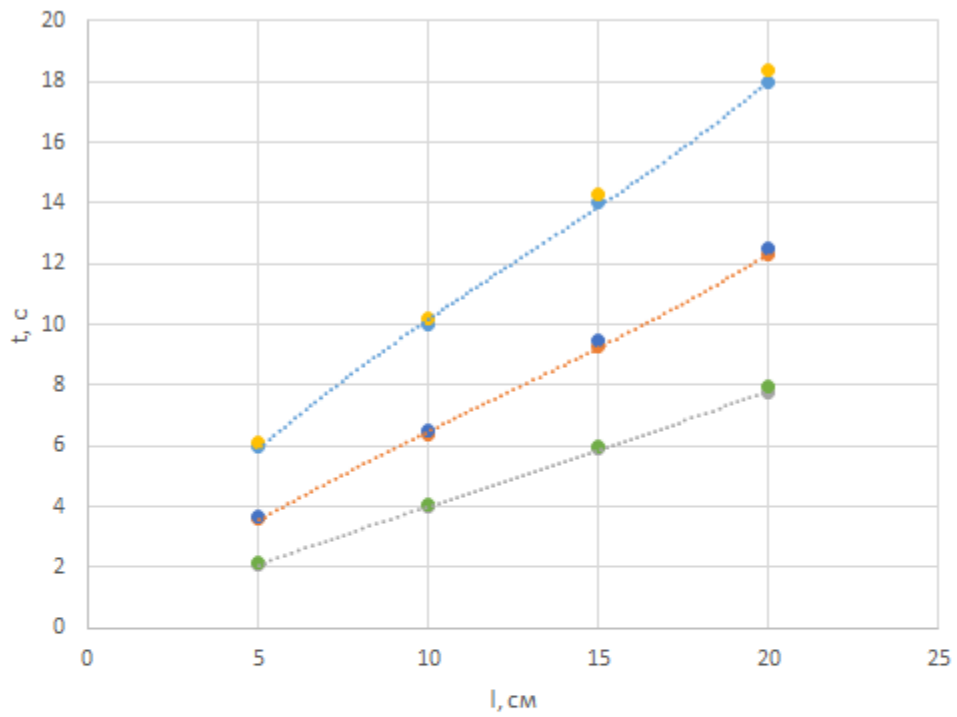
### Sn60Pb40 12B DC



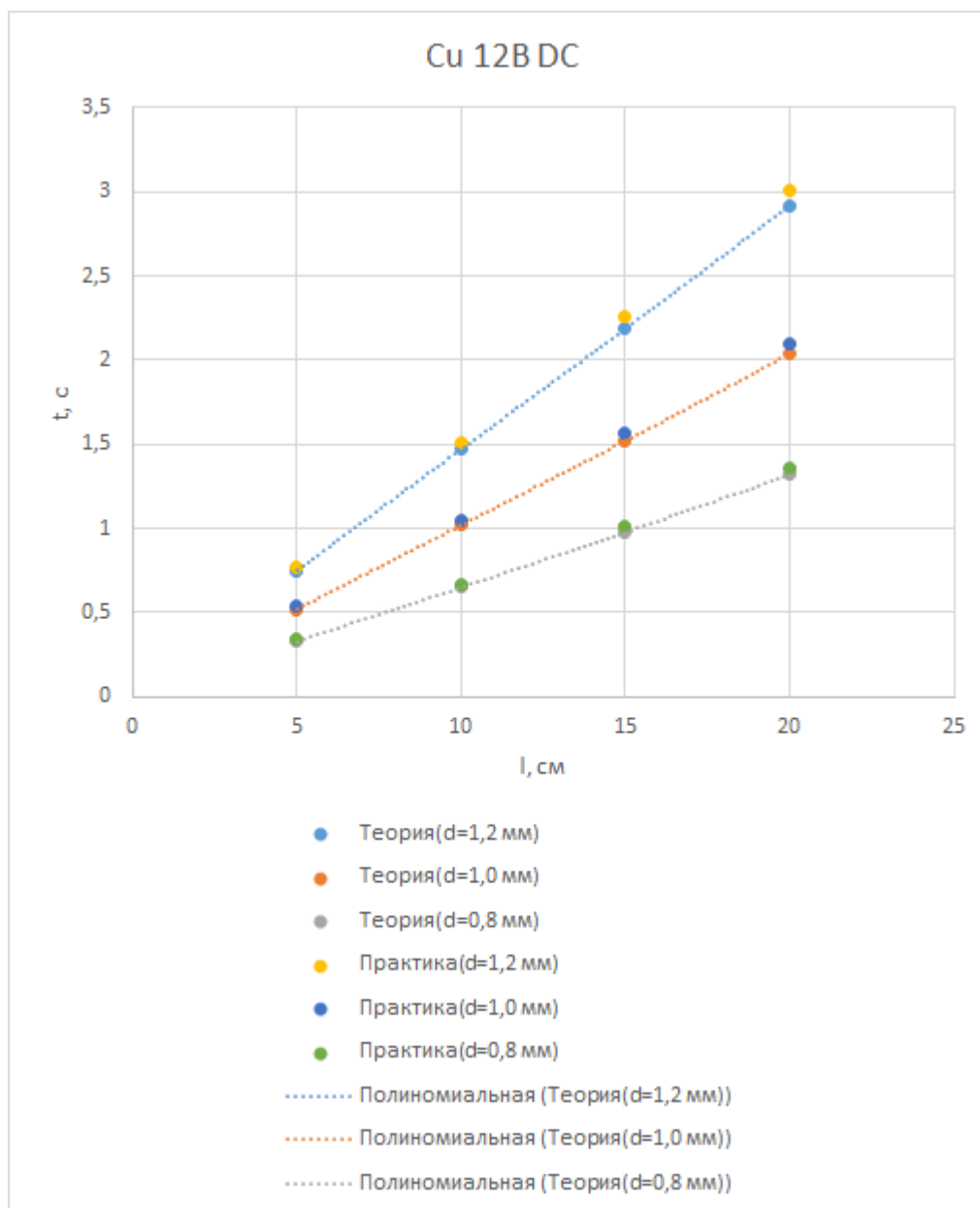
- Теория( $d=1,2$  мм)
- Теория( $d=1,0$  мм)
- Теория( $d=0,8$  мм)
- Практика( $d=1,2$  мм)
- Практика( $d=1,0$  мм)
- Практика( $d=0,8$  мм)
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,2$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,0$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=0,8$  мм))



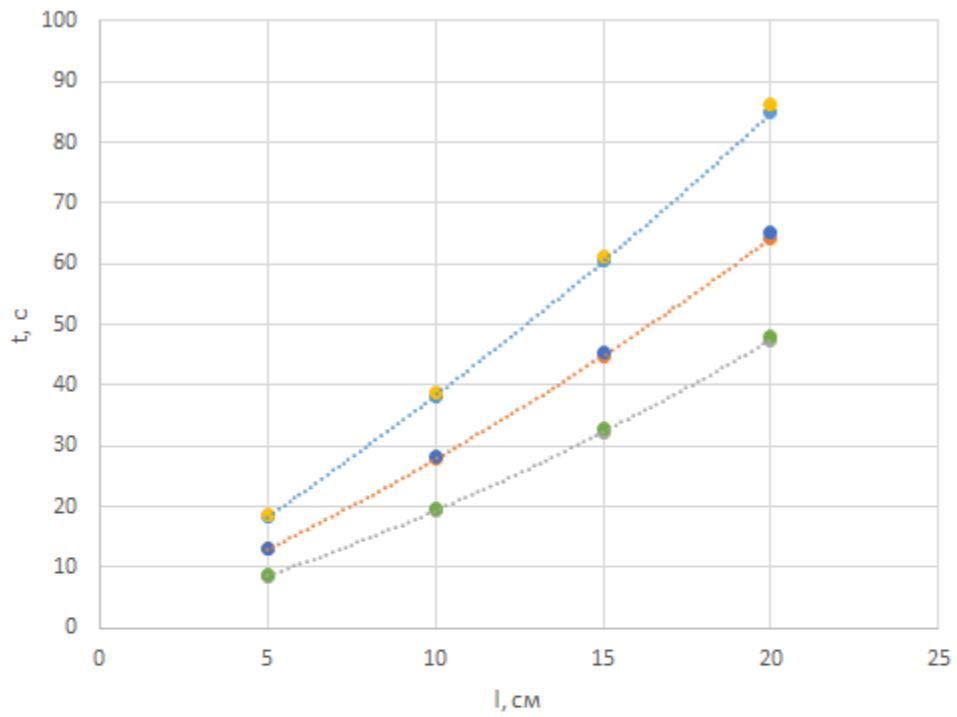
### Cu 5B DC



- Теория( $d=1,2$  мм)
- Теория( $d=1,0$  мм)
- Теория( $d=0,8$  мм)
- Практика( $d=1,2$  мм)
- Практика( $d=1,0$  мм)
- Практика( $d=0,8$  мм)
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,2$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,0$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=0,8$  мм))



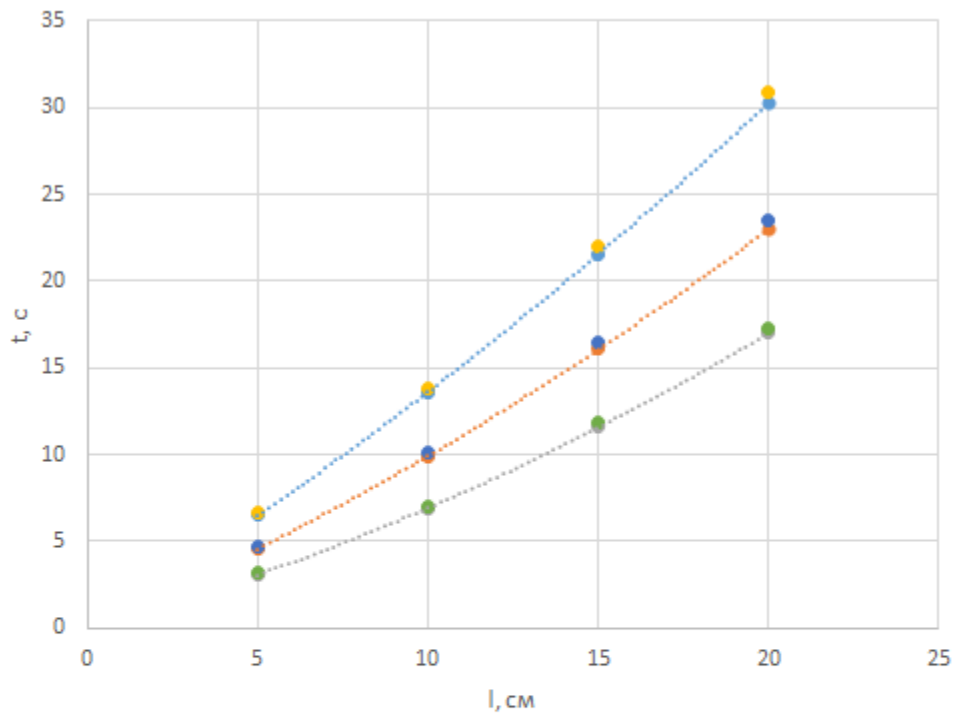
### Cr20Ni80 3B DC



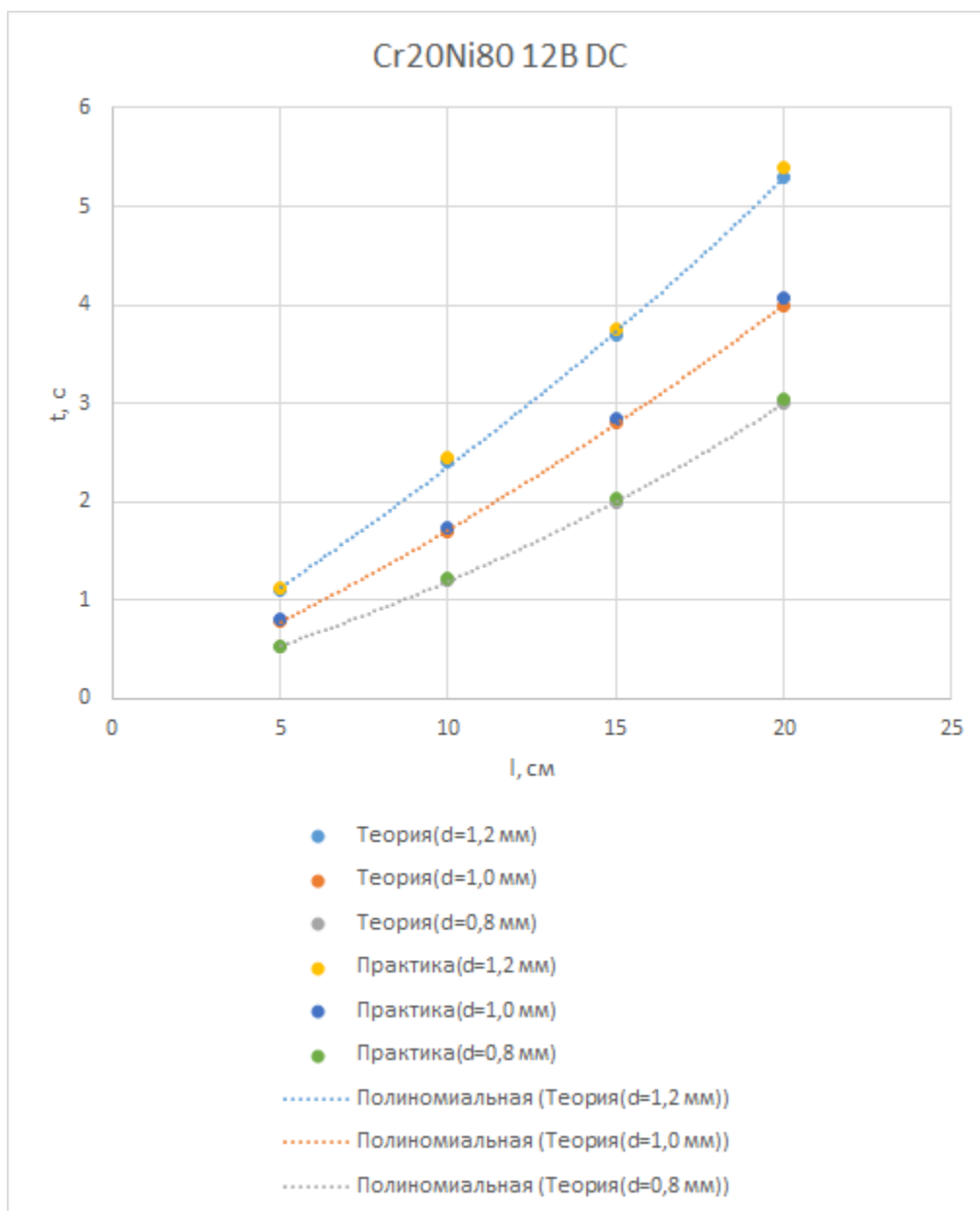
- Теория( $d=1,2$  мм)
- Теория( $d=1,0$  мм)
- Теория( $d=0,8$  мм)
- Практика( $d=1,2$  мм)
- Практика( $d=1,0$  мм)
- Практика( $d=0,8$  мм)
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,2$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,0$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=0,8$  мм))



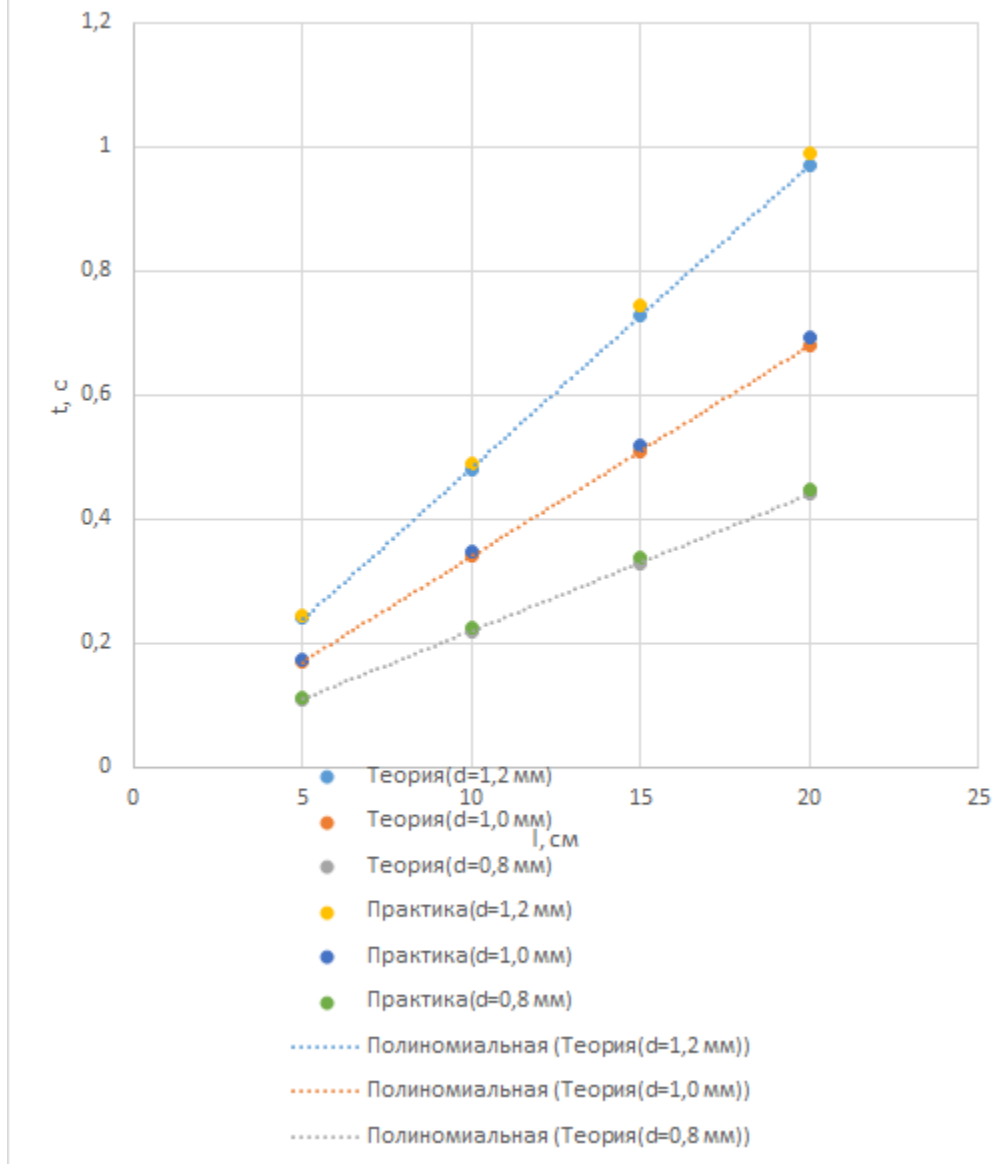
### Cr20Ni80 5B DC

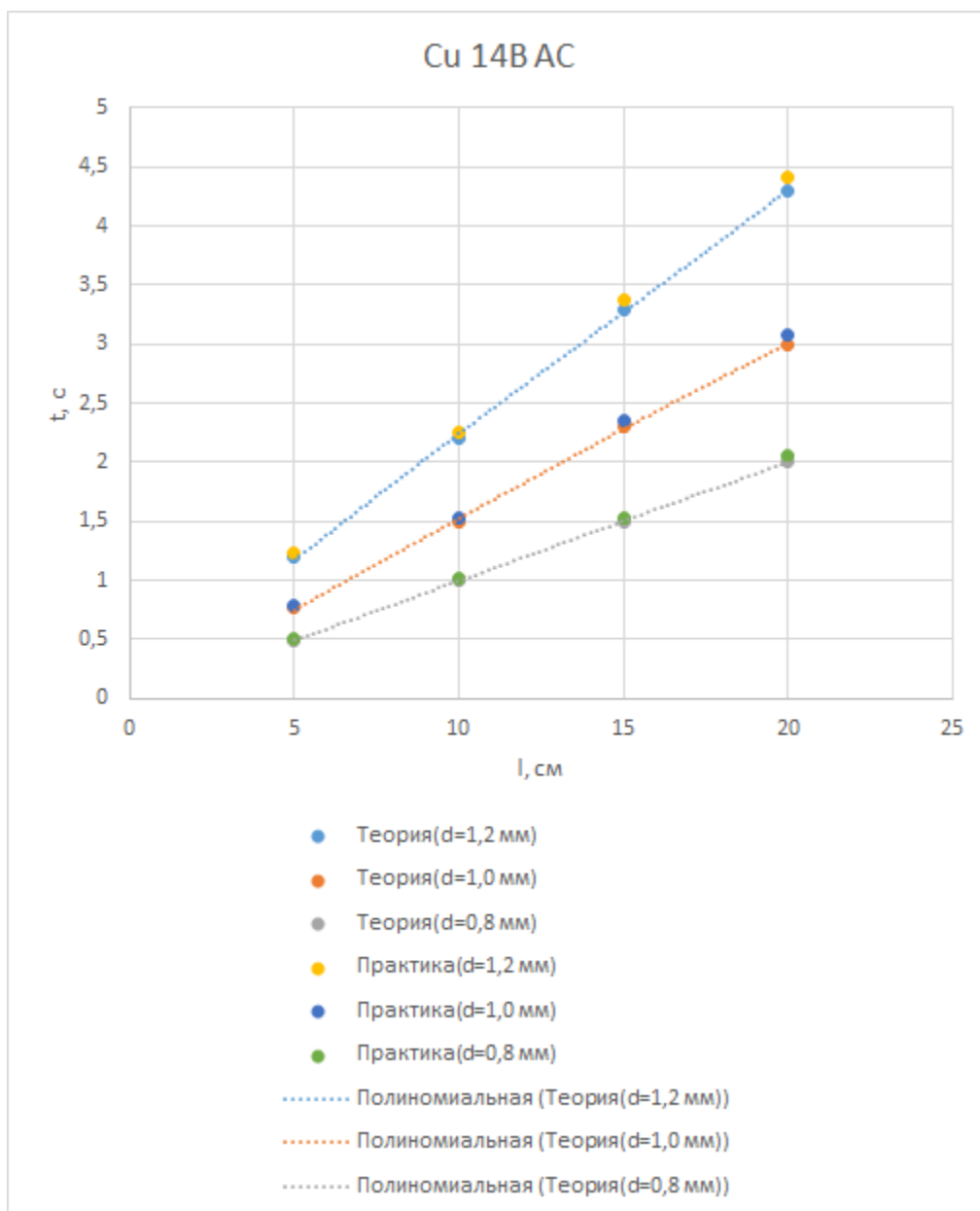


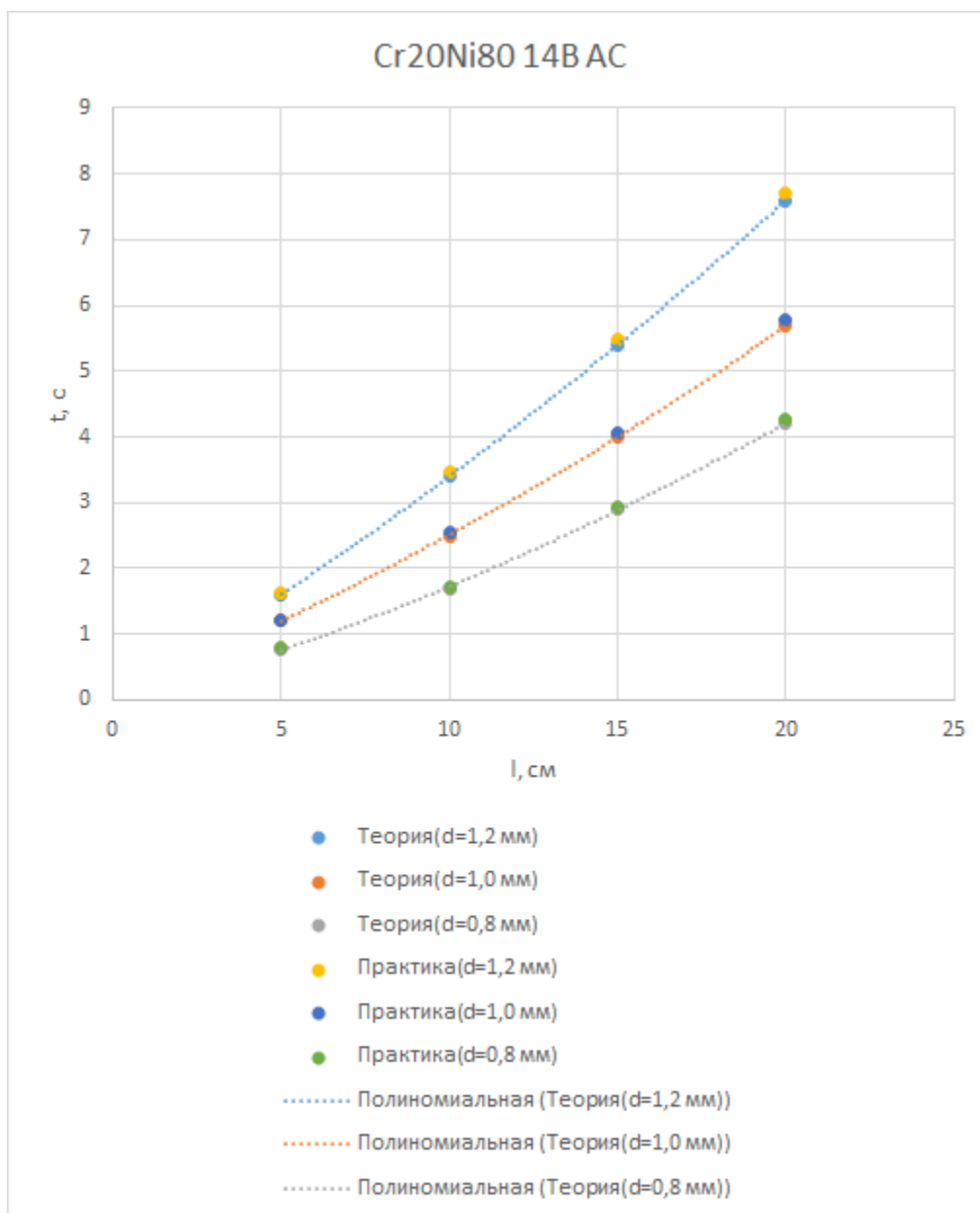
- Теория( $d=1,2$  мм)
- Теория( $d=1,0$  мм)
- Теория( $d=0,8$  мм)
- Практика( $d=1,2$  мм)
- Практика( $d=1,0$  мм)
- Практика( $d=0,8$  мм)
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,2$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=1,0$  мм))
- ..... Полиномиальная (Теория( $d=0,8$  мм))



### Sn60Pb40 14В АС







4)

Напряжение в цепи	Токи	Предохранитель
3 В	>1 А	Медная проволока длиной >1 см и диаметром <2 мм
5 В	>3 А	Медная проволока длиной 1-2 см и диаметром >1 мм
12 В	>5 А	Медная проволока длиной 5-10 см и диаметром 0.8-1.2 мм