

А.М. Гречко

ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ. НАЗАД В БУДУЩЕЕ

У статті наведено короткий нарис про історичні події раннього етапу розвитку тепких запобіжників у кінці XIX – початку XX століть.

В статті приведено короткий очерк об історичних подіях раннього етапу розвитку плавких предохранителей в конце XIX – начале XX веков.

Плавкий предохранитель... Как много в этом звуке для сердца аппаратчика слилось! Как много в нем отозвалось... Так и хочется перефразировать великого Пушкина! И в самом деле, практически ни один учебник по электрическим аппаратам не обходится без рассмотрения вопросов, касающихся данных аппаратов защиты. Конструкция, принцип действия, металлургический эффект, время-токовая характеристика, селективность, токоограничивающий эффект, интеграл Джоуля и многое другое – казалось бы, все о предохранителях уже давно известно, и "темных" пятен в этой области не осталось. Однако в отечественной литературе Вы практически не найдете информации о раннем этапе развития предохранителей, их первых конструкциях, хронологии событий и интересных исторических фактах, личностях, которые оказали влияние на становление и развитие предохранителей в конце XIX – начале XX веков. Таким образом, рассмотрение перечисленных выше вопросов и является целью данной статьи.

На Международной конференции по электрическим предохранителям и их применению (International Conference on Electrical Fuses and their Applications ICEFA), которая проходила в г. Гданьск в сентябре 2003 г. профессор Стокс из Сиднейского университета отметил: "Современные электрические предохранители – изумительные устройства для защиты жизни и оборудования от потенциальной мощности бесконтрольного электричества. Начиная с возникновения электричества в 70-х годах XIX века, они были на передней линии электрической защиты. Справедливо сказать, что без практически безотказной работы электрического предохранителя не было бы современной электропромышленности. Электричество было бы слишком опасным для широко повсеместного применения" [4].

Несмотря на такие "теплые" слова в адрес предохранителя, наверное, более "обижаемого" электрического аппарата не найти. Что только не устанавливают вместо него в распределительных устройствах (РУ) – от пресловутых "жучков" и разнообразных металлических деталей (рис. 1) до отверток и напильников (!). Интересно, что еще 40-50 лет назад во многих случаях считалось допустимым применение вместо плавких предохранителей обыкновенных железных гвоздей (в некоторых справочниках по электротехнике издания 50-60-х годов XX века даже приводились данные по току плавления гвоздей различных диаметров и длин) [1].

Халатное отношение к аппаратам защиты, попытка на них сэкономить, зачастую оборачивается серьезными авариями, последствия от которых являются несоизмеримо большими с материальной точки зрения.



Рис. 1. "Вечный" предохранитель

Есть пример, когда на предприятии была установлена новая современная автоматизированная система управления технологическим процессом стоимостью около 10 млн. долларов, а ее защита осуществлялась предохранителями в РУ, показанными на рис. 2.

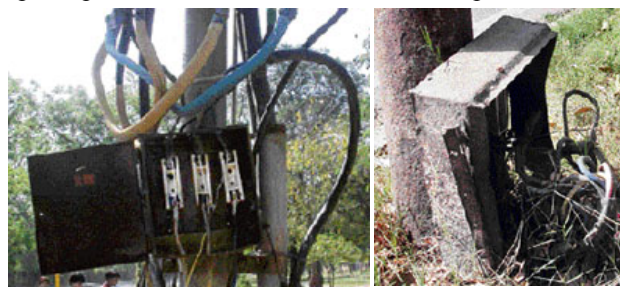


Рис. 2

Точная дата, когда предохранитель (по англ. *fuse* от лат. "*fusus*" – плавиться) впервые стал применяться в электротехнической области, до сих пор не известна – этот вопрос остается объектом обсуждения.

Поиск ранних упоминаний о "предшественниках" предохранителей приводит нас в эпоху статического электричества, в 1774 г. к инженеру Эдварду Нэрну (*Edward Nairne*), который пытался использовать провода определенной длины для разрядки лейденских банок [3]. По его задумке провода должны были действовать как разрядные резисторы, однако, в случае возникновения, по какой-либо причине, больших значений разрядных токов, провод действовал уже как предохранитель, плавясь и распадаясь на мелкие шарики [3].

Говоря о раннем этапе развития предохранителей, нельзя не отметить роль подданного Франции Луи Франсуа Клемана Бреге (*Louis Francois Clement Breguet*) (рис. 3).

Луи Франсуа Клеман Бреге – французский физик, часовых дел мастер (его дед Абрахам-Луи Бреге является основателем всемирно известной швейцарской часовой компании Breguet [6] (с 1999 г. – часть компании Swatch Group), среди клиентов которой в разные времена были такие выдающиеся личности, как Наполеон Бонапарт, Александр I, Уинстон Черчилль).



Рис. 3. Луи Франсуа Клеман Бреге (1804-1883)

Луи Франсуа получил домашнее образование, но к 14 годам практически не умел читать. После получения образования в г. Женеве Луи Франсуа возвращается в г. Париж, работая поначалу в семейной компании у отца, но затем решает заняться другим делом. Луи Франсуа Бреге изобрел различные виды электрических и газовых счетчиков, электрический телеграф для писем, а также механизмы защиты для железных дорог. Что касается области предохранителей, то в 1847 г. Луи Бреге впервые исследовал, что провода малого диаметра могут использоваться для защиты телеграфных установок от ударов молнии. Также, тонкие провода, расплавляясь, могли защитить аппаратуру и провода непосредственно внутри здания [5]. Однако данные исследования не нашли своего практического применения ни в виде патента, не говоря уже о промышленном производстве.

Что касается практического использования, то в ряде работ [2, 3] говорится, например, что в 60-х годах XIX века провода из платины уже использовались для защиты подводных кабелей (*undersea cables*), а применение тонких медных проводов (позже – медной фольги) для защиты телеграфных кабелей (*telegraph cables*) и осветительных установок (*lighting installations*) датируется 1864 г.

В 1879 г. простая конструкция предохранителя в виде тонкого провода была модифицирована проф. С. Томпсоном (*S.P. Thompson*) [3], который предложил использовать конструкцию (рис. 4), состоящую из двух железных проводов 1, соединенных между собой металлическим шариком 2.

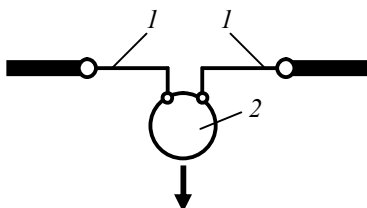


Рис. 4. Конструкция С. Томпсона

В описании к данной конструкции указывалось, что шарик может изготавливаться из сплава свинца и олова или любого другого проводящего материала с низкой температурой плавления. При достаточно большом токе, протекающем по предохранителю в течение длительного времени, происходит плавление шарика, который падает под действием силы тяжести, позволяя проводам разомкнуться и отключить цепь. Здесь стоит отметить, что подавляющее большинство электрических цепей того периода были постоянного тока, поэтому необходимо было приложить достаточ-

но быстрое разъединяющее усилие для успешного гашения электрической дуги.

Определенной разновидностью конструкции Томпсона является вариант предохранителя, предложенный Бойсом (*C.V. Boys*) и Канингэмом (*H.H. Cunyngham*) и запатентованный ими в 1883 г. В их варианте ток протекал по двум плоским пластинам 1, изготовленным из пружинящего материала, одни концы которых были жестко зафиксированы, а вторые – предварительно изогнуты и спаяны, как показано на рис. 5.

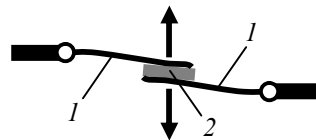


Рис. 5. Конструкция Бойса и Канингэма

При токе, выше определенного значения, место пайки 2 плавится, и пластины расходятся в разных направлениях, обеспечивая, тем самым, быстрое размыкание цепи. Были также разработаны другие, похожие варианты предохранителей, основанные на описанном принципе [3].

Следующим этапом развития предохранителей можно назвать их применение в качестве элемента защиты нитей накаливания в электрических лампах, публичная демонстрация которых происходит практически одновременно (по разным данным 1878-1880 гг.) по обе стороны Атлантического океана: в Британии Дж. Сваном (*Joseph Wilson Swan*), в США – Т.А. Эдисоном (*Thomas Alva Edison*) (рис. 6).



Рис. 6. Т.А. Эдисон (1847-1931) и Дж. Сван (1828-1914)

Подробную информацию о перипетиях противостояния двух изобретателей на почве изобретения лампы накаливания можно найти во многих источниках. Что же касается применения именно предохранителей в лампах накаливания и осветительных установках, то интересные сведения можно найти, например, в [7], где собраны выдержки из статей, писем, переписок изобретателей, ученых, инженеров того времени, которые говорят о том, что есть определенные сомнения о конкретном изобретателе предохранителя. Далее кратко приведем наиболее интересные моменты из данной книги.

Так, согласно письму Дж. Холмса (*J.H. Holmes*), приведенного в первом томе Дж. Дреджа (*J. Dredge*) "Electric Illumination" (опубликован в августе 1882 г.) говорится, что патент Т.А. Эдисона, является первым официальным известием о свинцовом проводе безопасности (оригинальное название "safety guard"). Однако тут же заявляет, что Дж. Сван в середине декабря 1880 г. использовал для защиты ламп накаливания, установленных в одном из помещений близ г. Лондона,

"оловянную фольгу для предохранителей, которая была зажата между двумя латунными блоками деталью из дерева, а позже из стеатита". А в каталоге "Swan United Electric Light Co" (1883 г.) уже были приведены такие предохранители, которые назывались "safety-fusing bridges".

При описании в журнале "Engineering" (март 1882 г.) системы электрического освещения лондонского театра Савой (The Savoy Theatre), в котором использовались лампы Дж. Свана, говорится, что разработанные им некие плавкие шунты безопасности ("fusible safety shunts") были предназначены, прежде всего, для защиты ламп от разрушения при протекании по ним большого тока, а не для защиты от электрической опасности, которая, по мнению Дж. Свана, "почти невозможна на практике". Однако в том же номере журнала описывается эксперимент, закончившийся серьезным коротким замыканием, и по предложению Дж. Роурта (John S. Raworth) провод из легкоплавкого металла необходимо было в дальнейшем размещать в закрытой области (точнее, он предложил использовать деревянную коробку из-под пилуль). Вот такой предок был у современных керамических корпусов предохранителей!

Наличие в каждой лампе накаливания Свана предохранителя, который представлял собой кусочек оловянной фольги, было вызвано, как отмечалось выше, необходимостью защиты лампы, так как в то время обеспечить необходимое значение напряжения и поддерживать его на требуемом уровне было довольно сложной задачей, а стоимость лампы была, по тем временам, довольно высокой – 25 центов [8].

Перечисленные факторы способствовали дальнейшим исследованиям по разработке более надежных и безопасных конструкций предохранителей, так как других защитных аппаратов в то время попросту не было. Об этом говорит следующий факт.

Во время известной Лауфен-Франкфуртской электропередачи, которую осуществил М.О. Доливо-Добровольский в рамках международной выставки в г. Франкфурте-на-Майне (1891 г.) были применены практически все элементы системы передачи электроэнергии, разработанные еще тогда и используемые по сей день практически без изменений. Перед главным входом на выставку в г. Франкфурте-на-Майне был построен искусственный водопад и установлен мощный асинхронный двигатель (100 л.с., т.е. около 75 кВт), который приводил в движение насос, подававший воду к декоративному водопаду [9]. Небольшая гидроэлектростанция с трехфазным синхронным генератором, которая с помощью трансформаторов передавала электроэнергию по ЛЭП на деревянных столбах на невиданное в те времена расстояние в 170 км (до этого момента дальность электропередачи обычно не превышала 15 км), была построена на р. Неккар, в местечке Лауфен [9]. Таким образом, небольшой искусственный водопад приводился в действие энергией естественного водопада, удаленного от первого на 170 км – налицо не что иное, как энергетическая цепь. Существует точка зрения, что именно с этого момента берет свое начало современная электрификация [10].

Все хорошо, полный восторг, но... Как отключить данную цепь? Разработано практически все, но

как таковых аппаратов защиты в этой цепи нет – силовые выключатели еще не изобретены, а вращение двигателя необходимо ж когда-то остановить. На помощь пришли как всегда предохранители!

М.О. Доливо-Добровольский предусмотрел в своей цепи вблизи источника энергии участок ЛЭП с тонкими проводами, а непосредственно на выставке, вблизи двигателя над проводами был подвешен ... металлический прут! Когда двигатель нужно было отключить, прут опускали, создавалось трехфазное короткое замыкание, тонкие провода перегорали и цепь отключалась. В какой-то мере такое решение было выходом из положения, однако, безусловно, временным, и подробно останавливаться на недостатках такого решения смысла нет.

Значительный вклад в теорию процессов, происходящих при плавлении предохранителя, внес А. Кокбурн (A.C. Cockburn). Он критически отзывался о предохранителях своих предшественников и принял попытку разработать такую конструкцию, которая бы максимально основывалась на теоретических положениях. Для этого в 1887 г. он провел исследования, касающиеся нагрева предохранителя, установил влияние температуры нагрева плавкого элемента на минимальное значение тока, при котором начинается плавление предохранителя. В попытке определить наиболее подходящие материалы для изготовления плавких элементов предохранителей, А. Кокбурн исследовал характеристики (теплоемкость, теплопроводность, электропроводность) различных материалов. В частности, установил, что материалы, которые подвержены быстрому и значительному окислению, являются непригодными к использованию в качестве плавких элементов предохранителей, т.к. характеристики последних при этом будут нестабильными, и со временем будут изменяться.

На основании проведенных исследований А. Кокбурн предложил конструкцию предохранителя (рис. 7), в котором груз из непроводящего материала 2 находился на плавком элементе 1. При достаточной степени оплавления плавкого элемента (провода) груз вызывал его обрыв, и, по заявлению А. Кокбуерна, характеристики предохранителя оказывались более стабильными, чем у других предохранителей того времени. А. Кокбурн назвал такой результат магическим, волшебным.

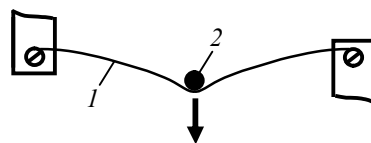


Рис. 7. Конструкция А. Кокбуерна

Исследования А. Кокбуерна показали, что предохранители того времени "далеки от научной основы", так как были случаи, когда минимальный ток плавления предохранителя во много раз превосходил номинальный ток защищаемого оборудования. А. Кокбурн предложил, чтобы предохранитель срабатывал при токе, большем номинального тока защищаемой цепи в 1,5-2 раза. Однако ни времен срабатывания, ни тем более время-токовых характеристик, к сожалению, приведено не было.

4 мая 1880 г. Т.А. Эдисон получил патент №227226 на изобретение проводника безопасности

для электрических ламп (safety conductor for electric lights), изображения которого непосредственно из описания патента [11] приведены на рис. 8. *B* – это главный провод цепи, разделенный на две части, и соединенный проводом *C* малого диаметра, способный проводить ток в номинальном режиме, но плавящийся и, тем самым, отключающий цепь, когда ток резко увеличивается [11].

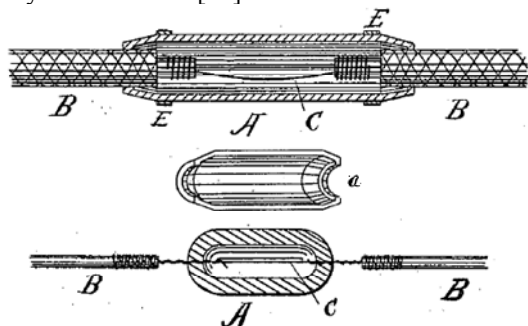


Рис. 8

В патенте также описано два варианта оболочек из непроводящего материала для предохранителя – "простой" формы (снизу на рис. 8) и оболочки (сверху на рис. 8), состоящей из двух половинок *a* ("предпочтительная" форма), одна из которых показана на рис. 8 по центру. Эта оболочка выполнена с небольшим внутренним фланцем, на концах сужается – для надежной фиксации главного провода *B* с помощью колец или лент *E*.

Конструкция Т.А. Эдисона является уже полностью закрытой (ранее рассмотренные варианты были открытого исполнения), отсутствуют механическое растяжение и деформация как главного провода *B*, так и проводника безопасности *C*. Представляет также интерес главное назначение оболочки для предохранителя, которое, согласно патенту, заключается в исключении возможности попадания капель расплавленного металла при перегорании проводника безопасности на ковры, мебель, другие предметы интерьера [11]. Таким образом, впервые в предохранителях стали применяться конструктивные мероприятия, обеспечивающие определенную пожарную безопасность.

Плавкий элемент в предохранителе Т.А. Эдисона находился в воздухе, – какой бы то ни было дополнительный наполнитель внутри оболочки отсутствовал. Это являлось серьезной проблемой, с которой сталкивались первые предохранители при относительно большом напряжении постоянного тока.

В конце XIX века весомый успех был достигнут в области конструкции предохранителей, который позволил решить данную проблему. Главный инженер Brush Electrical Engineering Company англичанин В. Морди (*W.M Mordey*) запатентовал первую оболочку (cartridge) для предохранителя, заполненную материалом для гашения электрической дуги [12, 13]. В его патенте 1890 г. описана плавкая вставка из медного провода (одного или нескольких проводов) малого диаметра или другой тонкой фольги, размещенная в стеклянной трубке или другой подобной оболочке (рис. 9). Главным в описании являлось то, что трубка должна быть полностью или частично заполнена мелкодисперсным материалом, обладающим относительно тока полупроводящими (semiconducting) или пло-

хопроводящими (badly conducting) свойствами, который также должен быть негорючим и невоспламеняющимся. В качестве возможных наполнителей были предложены следующие материалы: сухой мел, мрамор, кирпич, песок, слюда, корунд, асбест.

Как видно из описания конструкции предохранителя и его внешнего вида, уже в конце XIX века мир увидел предохранитель, дошедший до сегодняшних дней практически без изменений.

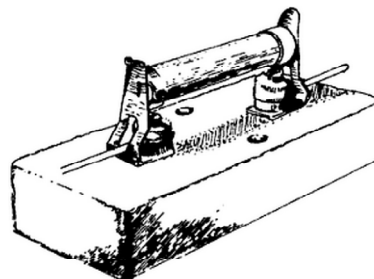


Рис. 9. Конструкция В. Морди

Мелкодисперсный кварцевый песок высокой степени чистоты сегодня является практически безальтернативным средством гашения электрической дуги в предохранителях. При гашении дуги кварцевый наполнитель оплавляется, рассеивает энергию дуги, охлаждает ее, оплавляется и затвердевает в виде так называемых фульгуритных трубок (рис. 10). Название пришло к нам из давних времен: когда древние римляне видели удар молнии в пустыне в землю (в песок), то называли твердые, оплавленные куски песка "фульгуритом" (от лат. *fulgur* – удар молнии). Согласно словарю В. Даля, "фульгурит" – громовая стрела, чертов палец, сплавленный молнией в трубку песок.

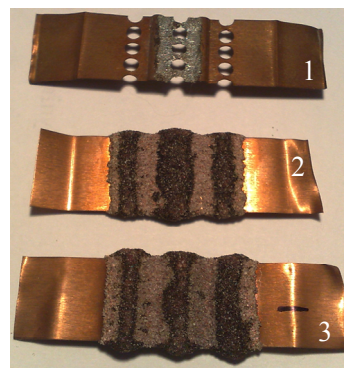


Рис. 10. Плавкий элемент предохранителя (1 – до плавления; 2, 3 – после плавления с образованием фульгуритных трубок)

В начале XX века популярностью пользовалась новая разработка Т.А. Эдисона – плавкая вставка ("Edison safety insert") (рис. 11,а) с наружной резьбой 1 на корпусе 2, внутри которого находился серебряный плавкий элемент 3 в кварцевом наполнителе 4 [14].

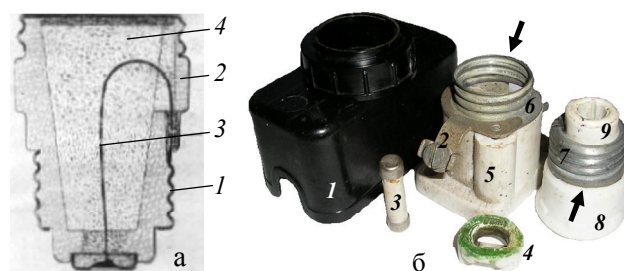


Рис. 11

Данная плавкая вставка по знаменитой резьбе Эдисона (резьба на цоколе обычных лампочек – не что иное как резьба Эдисона, диаметром 27 мм, т.е. E27) ввинчивалась в основание предохранителя, содержащее терминаты для присоединения в электрическую цепь.

Быстрое развитие электроустановок, сопровождающееся увеличением мощности, привело к ограничению применения плавкой вставки Т.А. Эдисона по причине низкой отключающей способности, о чем свидетельствовали серии испытаний, проведенные на электростанциях Германии в 1904 г. Так, согласно [14]: "многие вставки давали сбой с громким хлопком, который сопровождался выбросом пламени, что могло привести к серьезным пожарам". Однако многие принципы Т.А. Эдисона в построении предохранителей, в том числе способ соединения съемной (плавкой вставки) и несъемной (основания) частей предохранителя с помощью резьбы, сохранились и в наши дни (рис. 11,б).

В заключение необходимо отметить популярную конструкцию предохранителя начала XX века, концепция которого, по сути, с небольшими изменениями используется и по сей день. Речь идет о предохранителях "ZED" (позже – "DIAZED") (рис. 12) производства компании Siemens Brothers, общий объем продаж которых только в Великобритании к 1912 г составил более четверти миллиона штук [3].

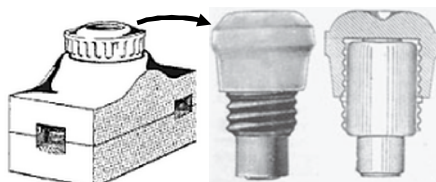


Рис. 12. Siemens-Schuckertwerke (1904 г.)

"DIAZED" означает "DIAMetral gestuftes Zweiteiliges sicherungssystem mit EDisongewinde" – диаметрально двухступенчатая система предохранителя с резьбой Эдисона. Название содержит в себе два ключевых принципа данных предохранителей:

1) *принцип разделения* конструкции на две основные части – съемную и несъемную, и их соединение с помощью резьбы Эдисона;

2) *принцип невзаимозаменяемости*, которая обеспечивается установкой специальных деталей (калибров – поз. 4 на рис. 11,б) с разным диаметром внутреннего отверстия, позволяющая предотвратить установку в основание предохранителя плавкой вставки 3 с большим значением номинального тока, нежели при котором обеспечивается защита электрической цепи.

Калибры, как известно, отличаются не только диаметром внутреннего отверстия, но и цветом. Так, например, калибр и плавкая вставка на 6 А имеют зеленую маркировку, на 10 А – красную, на 20 А – синюю. Интересна история выбора именно таких цветов для предохранителей "DIAZED". В начале XX века в Германии уже находились в обороте почтовые марки номиналом 5, 10, 20 пфенигов разного цвета (рис. 13), к которым привыкло большинство жителей. Дабы не запутать население окончательно, было принято решение использовать такие же цвета и для маркировки калибров и плавких вставок (сейчас ряд номинальных токов предохранителей изменился – вставок на 5 А нет, вставка зеленого цвета – на 6 А [15]).

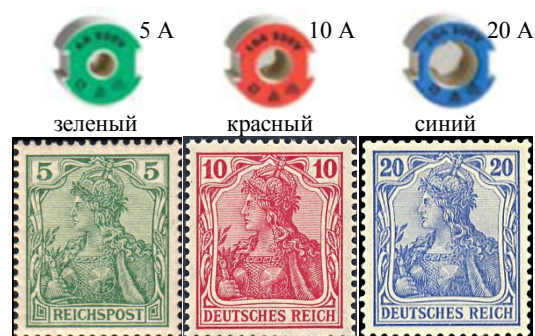


Рис. 13

Таким образом, в статье рассмотрен ранний этап развития предохранителей; установлено, что многие конструктивные решения были разработаны более века назад и, тем не менее, до сих пор успешно применяются, только лишь с использованием новых материалов, технологий. Поэтому, полезно, иногда, обернуться назад, чтобы с уверенностью смотреть в будущее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андроников Д. Плавкий предохранитель – элемент силовой электронной техники // Силовая электроника. – 2007. – № 1.
2. Ferraz Shawmut: still making fuse history // www.ferrazshawmut.com.
3. Wright A., Newbery P.G. Electric fuses. 3rd edition // Institution of Electrical Engineers (IET). – 2004. – pp. 2-10.
4. Gelet Jean-Louis. To the origins of fuses // www.ferrazshawmut.com.
5. Schossig W. Introduction to the history of selective protection // PAC Magazine. – Summer 2007. – pp. 70-74.
6. <http://www.breguet.com/eng/history>.
7. Clothier H.W. Switchgear Stages. A collection of articles written by Henry Clothier, bound and published by G.F. Laybourne, 1933.
8. C. Swinton. IEE Commemoration Meetings. February 1922. IEE Journal. 1922. Vol. 60. P. 494.
9. Шнейберг Я.А. Создатель первых трехфазных электроизмерительных приборов // Мир измерений. – 2010. – № 3.
10. Шнейберг Я.А. Основоположник современной электроэнергетики // Энергоэксперт. – 2009. – № 4. – С. 118-122.
11. <http://edison.rutgers.edu/patents/00227226.pdf>.
12. The history of the fuse // www.profuseinternational.com.
13. Gelet Jean-Louis. To the origins of fuses // www.ferrazshawmut.com.
14. The BETA Low-Voltage Circuit Protection. Fuse Systems. Technical Primer. www.siemens.com/beta.
15. IEC 60269. Low-voltage fuses.

Поступила 14.11.2010

Гречко Александр Михайлович, к.т.н.
Национальный технический университет
"Харьковский политехнический институт"
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21
НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические аппараты"
тел. (057) 707-62-81, e-mail: a.m.grechko@mail.ru

A.M. Grechko

Fuses. Back to the future.

The article gives a brief outline of historical events in the early stage of fuses development in the late XIX – early XX centuries.

Key words – fuse design, lead wire, tin foil, inventor.