

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗОЛЯТОРОВ ЛИНИЙ СВЯЗИ в 19 веке

Часть 2

Е.Сухов, м.н.с. НИУ Московский авиационный институт / Sukhov.george@gmail.com

УДК 621.315.622, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.90.5.72.79

С развитием электросвязи в 19 веке значительное распространение получили воздушные линии (ВЛС), предназначенные для передачи электрических сигналов по проводам, подвешенным на специальных опорах. Для укрепления проводов на опорах применялись различные виды изоляторов и арматуры, от надежности которых в значительной мере зависела надежность функционирования линии связи в целом. Во второй части данной работы приводится историко-технический обзор конструкций двухъюбочных штыревых изоляторов, методов прикрепления проводов, а также арматуры для укрепления изоляторов на опорах.

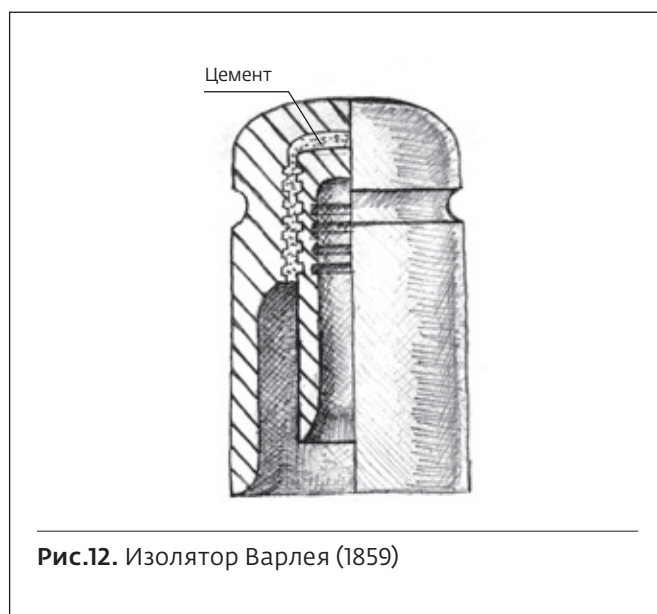
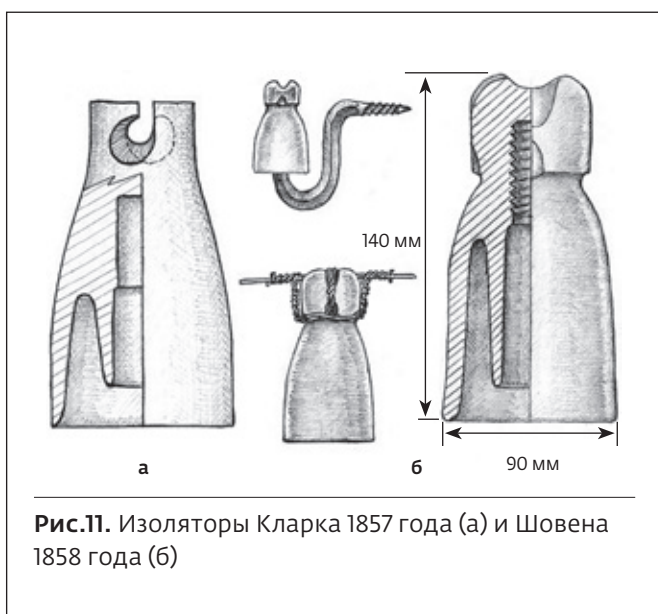
ШТЫРЕВЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ С ДВОЙНОЙ ЮБКЕЙ

Опыт первого десятилетия эксплуатации телеграфных линий показал, что ни одна из имевшихся на тот момент конструкций линейных изоляторов не обеспечивала надежной изоляции во влажную погоду. В определенной степени данная проблема могла решаться включением в линию дополнительных батарей и устройством пунктов ретрансляции. Однако на протяженных линиях это привело бы к значительным затратам. Данное обстоятельство вынуждало искать новые пути совершенствования линейных изоляторов. Наибольшего успеха в этом деле добились в Пруссии и Англии в 1857–58 годах.

Рациональное решение проблемы снижения изоляции в сырую погоду было найдено в 1856–57 году англичанином Л.Кларком [4, 8]. Кларк впервые предложил изготавливать изолятор в виде двойного колокольчика (рис.11а). Между юбками и вокруг штыря такого изолятора имелось узкое пространство, остававшееся сухим практически в любую погоду. Тем не менее, изолятор Кларка не получил большого распространения: возможно, причиной тому послужил не вполне удачный выбор метода прикрепления провода. Первой

массовой моделью с двойной юбкой в Англии стал изолятор Варлея [4], появившийся в 1859 году. Его ранние образцы были составными и склеивались цементом из двух керамических заготовок (рис.12).

Наконец, в 1858 году директор прусских телеграфов Ф. фон Шовен предложил изолятор, показанный на рис.11б [4]. Данный изолятор изготавливался из фарфора и, подобно конструкции Кларка, имел двойную юбку большого удлинения. Прикрепление провода осуществлялось посредством перевязочной проволоки аналогично штыревому изолятору Сименса 1852 года. Испытания этого изолятора дали отличные результаты, и в 1862 году он был принят в качестве стандартного для государственных телеграфных линий Королевства Пруссия. Нужно отметить, что в варианте 1862 года изолятор фон Шовена имел винтовую нарезку и крепился к штырям при помощи пропитанной маслом пакли, что существенно улучшило его надежность по сравнению с креплением на гипс или серу. Как показала практика, такое сочетание конструктивных решений было весьма удачным и различные варианты данного изолятора получили широкое распространение по всему миру, как на линиях связи, так



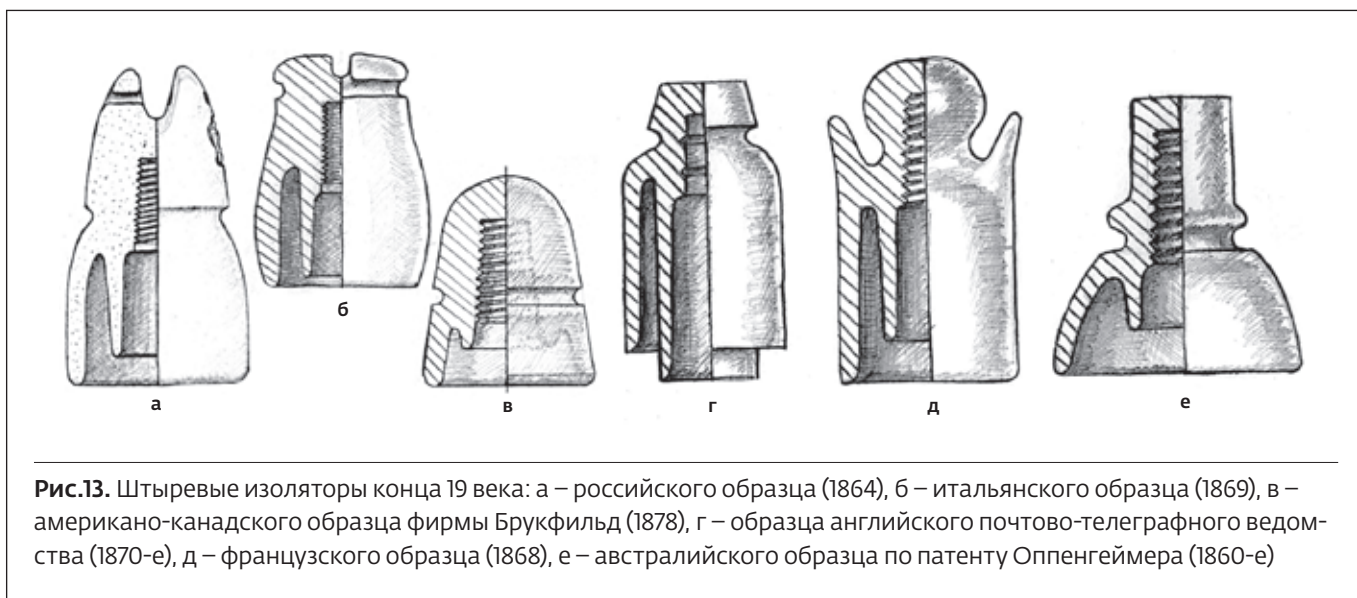
и на линиях электропередачи напряжением до 500 В. В Германии изоляторы такого типа получили название Doppelglocke ("двойной колокол").

С середины – конца 1860-х годов двухъюбочные изоляторы стали активно применяться по всему миру, заменяя более ранние конструкции. Некоторые распространенные варианты таких изоляторов показаны на рис.13.

На российских казенных линиях изоляторы с двойной юбкой применялись с 1864 года [23, 24]. Первое такое изделие российского образца показано на рис.13а. На телеграфных линиях Италии с 1869 года применялись изоляторы, показанные на рис.13б; на английских

линиях большое распространение получили изоляторы конструкции Варлея (Varley's double-shed insulator), а также конструкции почтово-телеграфного ведомства, показанные на рис.13г; во Франции с 1868 года применяются двухъюбочные изоляторы, показанные на рис.13д; на рис.13е представлен изолятор австралийского образца конструкции Оппенгеймера [4].

Стоит отметить, что изоляторы в США, Канаде, Австралии и некоторых странах Латинской Америки применялись преимущественно со штырями из консервированной древесины и либо не имели длинных внутренних юбок (рис.13в), либо выпускались с одной узкой и сильно удлиненной юбкой.



О СПОСОБАХ ПРИКРЕПЛЕНИЯ ПРОВОДОВ

Надежность и срок службы изолятора в значительной мере зависят от способа прикрепления к нему провода. Наиболее предпочтительными являются такие способы крепления, при которых провод не проскальзывает относительно изолятора и не имеет точек периодического перегиба, в которых со временем происходит его излом. Кроме того, как с технической, так и с экономической точки зрения важна простота крепления, так как это позволяет снизить требования к квалификации монтеров и ускорить сооружение линий.

Способ крепления проводов к изоляторам различается в зависимости от типа опоры, на которой осуществляется монтаж. Опоры делятся на два основных типа:

- промежуточные опоры, которые в нормальном режиме воспринимают только вес провода и поперечную ветровую нагрузку;
- анкерные опоры (также именовавшиеся "натяжными"), имеющие усиленную конструкцию и рассчитанные выдерживать одностороннее натяжение проводов при монтаже, регулировке или обрыве. Крепление проводов на них выполняется с увеличенным запасом прочности. При этом могут использоваться как обычные, так и специальные ("натяжные") изоляторы.

Также выделяют угловые и концевые опоры. Первые устанавливаются в точках поворота линии и усилены в направлении биссектрисы угла поворота; вторые аналогичны по устройству анкерным опорам и устанавливаются в конечных точках линии, а также перед большими переходными пролетами.

На промежуточных опорах линий с изоляторами-втулками и изоляторами с якорем провод, как правило, не имел никакого крепления в продольном направлении. Для того чтобы провода не перетягивались

из пролета в пролет и не соприкасались между собой, через каждые 9–12 промежуточных опор устанавливалась одна анкерная опора с натяжными изоляторами. В случае обрыва анкерная опора воспринимала большую часть продольной нагрузки от оборвавшегося провода. Из-за низкой надежности данная схема подвески проводов вышла из употребления уже в конце 19 века. В некоторых случаях на уже имеющихся линиях такого типа провода подвязывали к изоляторам промежуточных опор проволокой.

На первых линиях со штыревыми изоляторами (1845–50 годы) линейный провод, изготовленный из меди, просто обматывался вокруг шейки изолятора. Однако с распространением железных проводов такой способ крепления оказался неприменим и вместо этого линейный провод стали привязывать к изолятору мягкой перевязочной проволокой (рис.14).

На промежуточных опорах провод вкладывался в верхний желоб изолятора и привязывался к его шейке (рис.14а, б). При обычной вязке (рис.14а) провод прихватывался проволокой по краям желоба. При усиленной вязке (рис.14б) перевязочная проволока также обхватывала провод крест-накрест и служила для добавления ему большей изгибной жесткости в месте крепления. Такое решение позволяло продлить срок службы провода.

Позже усиленная вязка полностью заменила вариант, показанный на рис.14а. Стоит также отметить, что в таких странах, как США, Австралия, Великобритания и Франция, большинство изоляторов изготавливалось без верхнего желоба. На таких изоляторах провод на промежуточных опорах вкладывался в шейку. Обычная и усиленная вязка при этом аналогична вариантам, представленным на рис.14а, б. Также крепление на шейку применялось на угловых опорах (рис.14в). В районах с неблагоприятными гололедными условиями провод мог усиливаться в месте крепления обмоткой из тонкой металлической полосы или прямым отрезком упругой проволоки – "рессорой".

Описанная схема крепления позволяет существенно сократить количество анкерных опор, однако в случае обрыва нагрузка на промежуточные опоры повышается.

На анкерных опорах провод мог крепиться как в желобе, так и на шейке изолятора. В последнем случае конец провода обхватывал шейку и либо приматывался к основной части провода перевязочной проволокой, либо обматывался вокруг нее в несколько оборотов. При креплении в желобе использовалась специальная вязка, при которой формировалось кольцо, образующее аварийный запас провода (данный способ, однако, не получил большого распространения из-за особой трудоемкости).

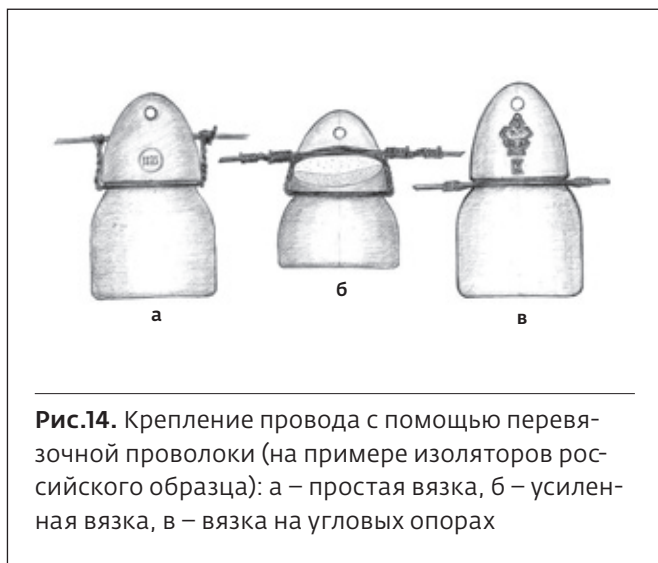


Рис.14. Крепление провода с помощью перевязочной проволоки (на примере изоляторов российского образца): а – простая вязка, б – усиленная вязка, в – вязка на угловых опорах

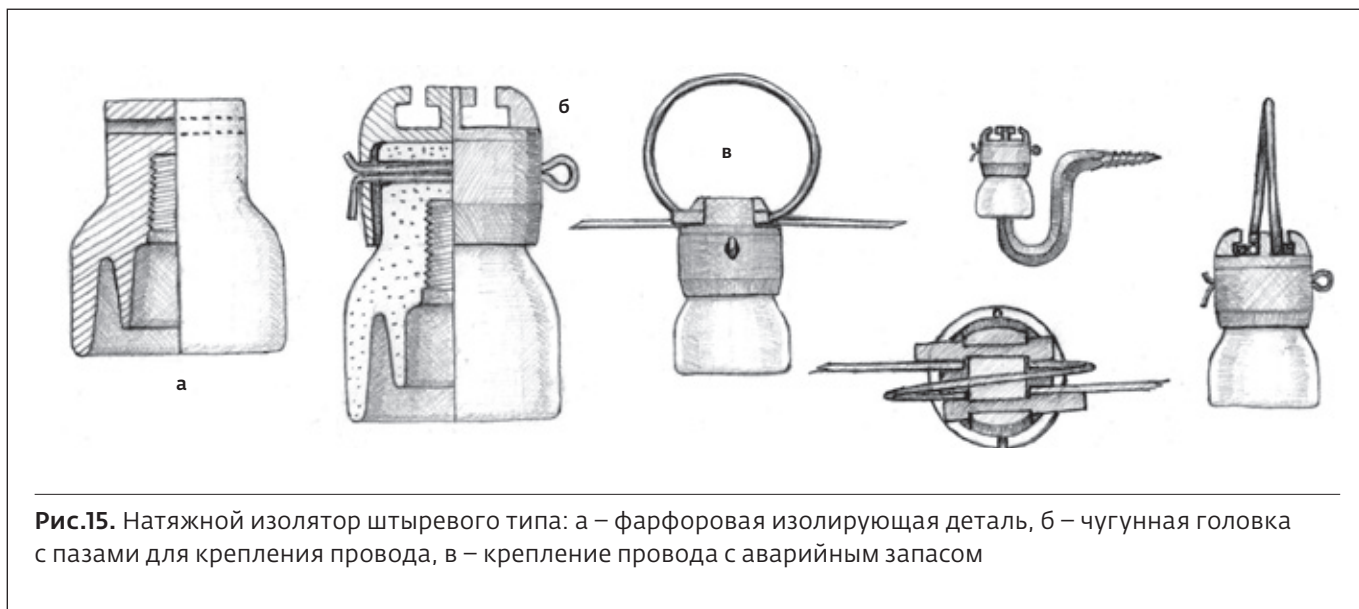


Рис.15. Натяжной изолятор штыревого типа: а – фарфоровая изолирующая деталь, б – чугунная головка с пазами для крепления провода, в – крепление провода с аварийным запасом

Также на анкерных опорах применялись натяжные изоляторы, которые отличались от обычных усиленной конструкцией и способом крепления проводов. Из них наибольшее распространение получили изоляторы с эксцентриковыми или клиновыми зажимами. Изоляторы с якорем, оснащенные клиновым и эксцентриковым зажимами, были показаны на рис.7б и г (см. первую часть данной статьи). На рис.15 изображен штыревой изолятор с чугунной головкой, применявшийся в опытном порядке на российских линиях в конце 19 века. На данном изоляторе линейный провод закреплялся клиньями в пазах чугунной головки (рис.15б), образуя петлю (рис.15в), которая использовалась в качестве запаса для сезонной регулировки натяжения и на случай обрыва. При всей простоте использования клиновые и эксцентриковые зажимы имели существенный недостаток: из-за ветровой вибрации провод со временем переламывался в точке касания зажима. В меньшей степени данному недостатку была подвержена система крепления на основе храповых механизмов, применявшаяся во Франции и Бельгии (рис.16). В то же время подобные зажимы были сложны и менее надежны.

К концу 19 века методика крепления проводов с помощью перевязочной проволоки получила повсеместное распространение. К ее достоинствам относятся дешевизна и простота изоляторов, а к недостаткам – трудоемкость. Перевязка, выполненная плохо обученным монтером, со временем ослабевает и рвется, из-за чего происходит падение провода или его перетягивание из пролета в пролет [25].

В связи с этим на протяжении всего 19 века появлялись различные конструкции страховочных

приспособлений и "беспривязочных" изоляторов. В частности, на изоляторе фон Шовена поперек основного желоба имелись выемки для второй, страховочной, перевязки, выполняемой поверх уже привязанного к шейке линейного провода. На изоляторах российского образца, поставившихся на казенные телеграфные линии с 1864-го по 1883-й год, в верхней части формовались высокие "ушки" с отверстиями, в которые вставлялась страховочная шпилька, не дававшая проводу упасть в случае роспуска перевязки. На упомянутом ранее изоляторе Кука желоб имел винтовую форму, и лежащий в нем провод

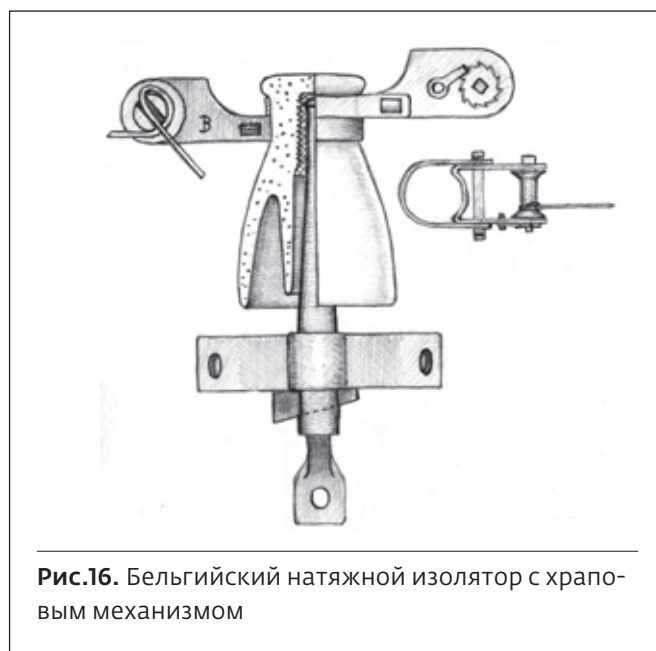


Рис.16. Бельгийский натяжной изолятор с храповым механизмом



Рис.17. Изолятор Сименса с эксцентриковым креплением провода (вариант 1869 года)

не мог соскочить с изолятора, упираясь в выступы в верхней части желоба. Аналогичная конструкция также применялась на изоляторах в Дании и Швеции (рис.18а) [25].

С конца 1860-х годов фирма Siemens Bros. выпускала изоляторы с чугунной головкой и эксцентриковым зажимом по патенту Вильяма Сименса (рис.17). Данные изоляторы поставлялись в Австралию, Латинскую Америку, на Ближний Восток и в Индию [20]. В частности, они были применены в 1869–70 годы на Индо-Европейской телеграфной линии [26]. В данной конструкции удалось достигнуть высокого удобства и простоты монтажа, однако, изоляторы этого типа были подвержены всем недостаткам ранних составных конструкций, а также были причиной частого излома линейных проводов.

Кроме того, существовали конструкции, основанные на защемлении провода между тремя и более упорами. Крепление такого типа применялось на рассмотренном выше изоляторе Брукса. Однако, как и в случае с эксцентриками, данная конструкция хоть и была простой при монтаже, в эксплуатации вызывала быстрый износ провода.

Среди многих конструкций беспривязочных изоляторов заслуживает внимания изделие по патенту 1873 года, выданному Г.Ш.Капанеме из Бразилии [27]. В своей конструкции Капанема пытался минимизировать подтеки ржавчины, возникающие из-за коррозии перевязочной проволоки, а также сократить риск пробоя изолятора через шейку при атмосферных перенапряжениях, что было актуально в бразильском климате. Для фиксации от продольного перемещения

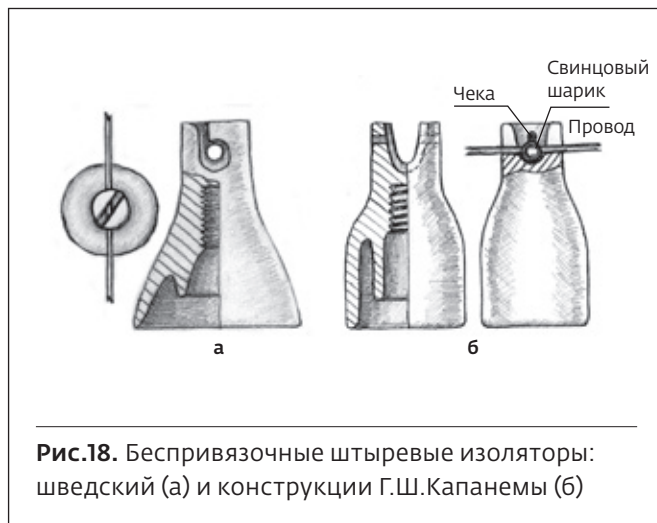


Рис.18. Беспривязочные штыревые изоляторы: шведский (а) и конструкции Г.Ш.Капанемы (б)

на проводе в точке крепления отливался свинцовый шарик, который вкладывался в гнездо, расположенное в верхнем желобе изолятора (рис.18б). Затем в находящиеся над гнездом отверстия вкладывалась чека, не дававшая проводу выскочить из желоба.

Несмотря на многочисленные и продолжительные попытки совершенствования беспривязочных конструкций ни одна из них не получила распространения, сопоставимого с изоляторами, на которых провод закреплялся проволокой. С ростом уровня организации линейных служб потребность в таких конструкциях постепенно снижалась.

Также происходил отказ и от изоляторов со страховочными устройствами. В частности, на российских казенных линиях в 1879–83 годах перешли от использования изделий с "ушками" к изоляторам по германскому образцу – без страховочных приспособлений. Одной из причин было небрежное отношение монтажников к изготовлению перевязок, которое возникало из-за надежды на страховочные устройства ("ушки") [25].

О ПРИКРЕПЛЕНИИ ИЗОЛЯТОРОВ К ОПОРАМ

Кроме способа крепления провода большое значение для надежности изоляторов имеет способ их крепления к столбам. Не останавливаясь на изоляторах-втулках и изоляторах с якорем, методы крепления которых были подробно рассмотрены в первой части статьи, опишем основные разновидности арматуры, применявшейся для крепления штыревых изоляторов.

Для крепления их к опорам применяются поддерживающие конструкции трех видов: консоли, кронштейны, крюки и траверсы со штырями. При креплении проводов на консолях, крючьях и кронштейнах опоры имеют вид, показанный на рис.19а и б. При использовании штырей на опоре устанавливаются горизонтальные переключины-траверсы (рис.19в),

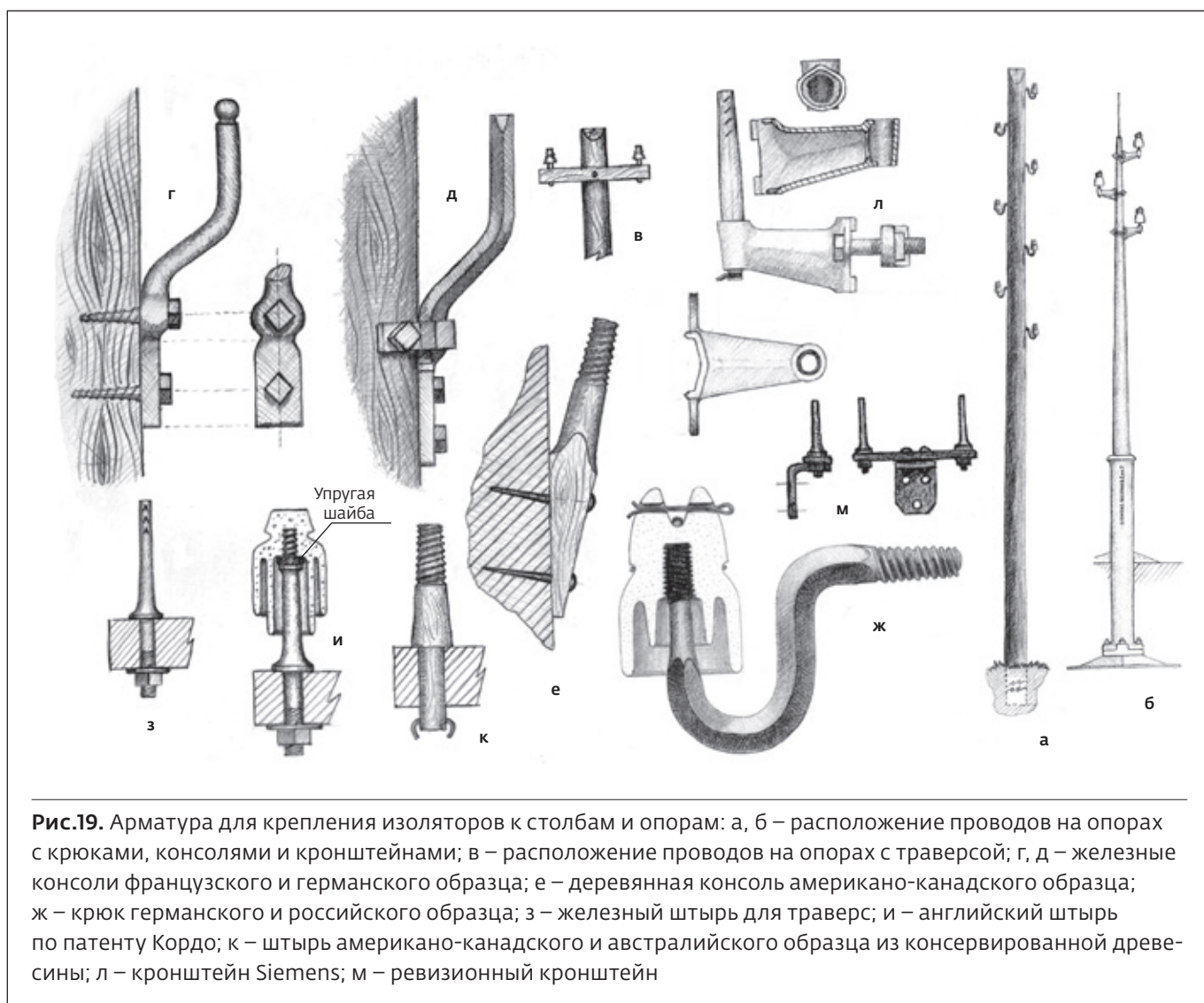


Рис.19. Арматура для крепления изоляторов к столбам и опорам: а, б – расположение проводов на опорах с крюками, консолями и кронштейнами; в – расположение проводов на опорах с траверсой; г, д – железные консоли французского и германского образца; е – деревянная консоль американско-канадского образца; ж – крюк германского и российского образца; з – железный штырь для траверс; и – английский штырь по патенту Кордо; к – штырь американско-канадского и австралийского образца из консервированной древесины; л – кронштейн Siemens; м – ревизионный кронштейн

на которых располагаются два и более штыря с изоляторами. В некоторых случаях штырь также монтировался на железном колпаке, надеваемом на верхушку столба.

В европейской практике 1850-х годов на линиях во Франции и государствах Германского союза большое распространение получили консоли вида, показанного на рис.19г и д соответственно [4]. К 1860-м годам в Пруссии [8], а затем в России [5, 19] и других странах для крепления изоляторов стали использоваться крючья. Они изготавливались из железного прутка квадратного или круглого сечения, согнутого в виде буквы U с горизонтальным хвостовиком для ввинчивания в столб (рис.19ж). Будучи значительно проще в производстве, чем консоли, крючья более благоприятно воспринимали механическую нагрузку от провода за счет того, что шейка изолятора располагалась на одном уровне с хвостовиком крюка. На рис.19ж

показан крюк российского образца 1870 года с укрепленным на нем изолятором.

Кронштейны, будучи схожими с консолями, отличаются от них более сложной составной конструкцией. На рис.19л показан литой чугунный кронштейн, применявшийся на железных столбах по патенту Сименса (рис.19б). Также стоит отметить специальный тип кронштейнов – ревизионные кронштейны с двумя штырями, применявшиеся на ревизионных (контрольных) столбах (рис.19м).

На первых телеграфных линиях для прикрепления изоляторов к железным штырям и вертикальным частям крюков применялись различные вяжущие составы. Наиболее часто применялся цемент, гипс или сера с добавкой охры или железной стружки. Ранее было упомянуто, что данный метод крепления имеет недостаток, связанный с образованием зазоров в соединении и попаданием в них влаги. В связи



Рис.20. Телеграфные изоляторы российского образца 1870-х годов производства фабрик "Сименс и Гальске" и Братьев Корниловых (из коллекции Е.А.Сухова)

с этим в 1860-х годах стали выпускать изоляторы с винтовой нарезкой для крепления при помощи пропитанной льняным маслом или креозотом пакли. При таком методе посадочная часть штыря или крюка плотно обматывалась паклей и затем вкручивалась в изолятор, что обеспечивало надежное крепление, не впитывавшее влагу и равномерно распределявшее нагрузку на фарфор. Иное решение данной проблемы было найдено в Великобритании: на рис.19и изображен штырь с посадкой по патенту Кордо [28], в котором металлическая нарезка штыря вкручивалась непосредственно в изолятор с небольшим зазором, пока изолятор не поджимался резиновой шайбой, расположенной на буртике штыря. С конца 19 века данная конструкция повсеместно применялась как в самой Великобритании, так и в ее колониях.

В США, Канаде и Австралии наибольшее распространение получили консоли и штыри из консервированной древесины (рис.19е и к). Такое решение возникло в США в результате многочисленных проблем с растрескиванием закрепленных на железных консолях стеклянных изоляторов, которое происходило при нагреве консолей в жаркую погоду. Также использование деревянных штырей позволило удешевить сами изоляторы, не прибегая к конструкциям с длинной двойной юбкой. Кроме того, в США и Канаде до появления в 1865 году патента [29] изоляторы и штыри выпускались без винтовой нарезки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

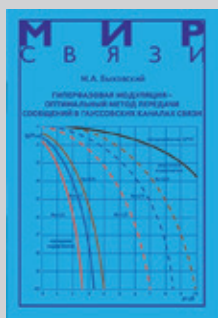
Начиная с наиболее раннего периода развития ВЛС, можно выделить три основные разновидности конструкций линейных изоляторов: в форме втулок и подкладок, с якорем и штыревые изоляторы. Последние в силу конструктивных преимуществ получили повсеместное распространение, практически вытеснив к концу 19 века прочие разновидности. В частности, наиболее удачной оказалась конструкция штыревого изолятора с двойной юбкой, различные варианты которой продолжают использоваться вплоть до настоящего времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чирахов Ф.Х.** Воздушные и кабельные электрические линии слабого тока. – М.-Л.: ГНТИ, 1932. 53 с.
2. **Семенюта Н.Ф.** История цифровой телекоммуникации от телеграфа до Интернета. – Минск, 2017.
3. **Shaffner Tal.P.** Telegraph Manual: a complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa and America, Ancient and Modern. – New York: D. van Nostrand, 1859.
4. **Rother L.F.W.** Der Telegraphenbau. Ein Handbuch zum praktischen Gebrauch für Telegraphen-Techniker and Beamte. – Berlin: W.J.Peiser, 1865.
5. **Писаревский Н.Г.** Руководство к устройству воздушных телеграфных линий. – СПб: Телеграфный департамент, 1878.
6. **Гейне Ф.** Фарфоровые телеграфные изоляторы (их выделка, свойства и испытания). – СПб: Типография МВД, 1912.
7. **Вагнер Р.** Химическая технология. – СПб: К.Л.Риккер, 1902.
8. **Hennenberg O., Froelich K., Zetzsche E.** Handbuch der Elektrischen Telegraphie. – Berlin: J. Springer, 1887.
9. **Pritchard A.** English Patents; Register of all those Granted for Inventions in the Arts, Manufactures, Chemistry, Agriculture, etc. – London: Whittaker & Co., 1843.
10. **Highton E.** The Electric Telegraph: its History and Progress. – London: J.Weale, 1852.
11. **Vail A.** Description of the American Electro Magnetic Telegraph: now in operation between cities of Washington and Baltimore. – Washington: J. and G.S.Gideon, 1845.
12. **Reid J.D.** The Telegraph in America: its Founders, Promoters and Noted Men. – Arno Press, 1879.
13. **Ricardo J.** Rocardo's Methode die Leitungsdrachte elektrischer Telegraphen zu Isoliren // Polytechnisches Journal. 1848. Vol. 113. No. VI. PP. 12-13.
14. Telegraph insulator: пат. № 21492 США / M.G. Farmer J.M.Batchelder. Приоритет 14.09.1858.

15. Moncel Du. Traité théorique et pratique de Télégraphie électrique. – Paris, 1864.
16. Siemens W. On the progress of the electric telegraph // The Journal of the Society of Arts and of the Institutions in Union. 1858. Vol. 6. No. 283. PP. 350–351.
17. Insulator for telegraph wires: пат. № 45221 США / D.Brooks. Приоритет 29.11.1864.
18. Telegraph insulator: пат. № 69662 США / D.Brooks. Приоритет 10.08.1867.
19. Паррот М.Ф. Устройство телеграфных линий. – СПб: Изд. Павлова, 1874.
20. Materials for the Construction of Land Telegraph Lines, Siemens Brothers. – London: J.B.Nichols and Sons, 1873.
21. Insulator for telegraph wires: пат. № 8418 США / J.M.Batchelder. Приоритет 14.10.1851.
22. Chesnell T.G.A. Improved insulators // Mechanic's Magazine: museum, register, journal and gazette. 1850. Vol. 5. P. 13.
23. Собрание циркуляров и приказов и других распоряжений по телеграфному ведомству с 1859 по 1874. – СПб: Телеграфный департамент, 1877.
24. Сухов Е.А. Конструкции линейных изоляторов и арматуры магистральных воздушных линий связи в России во второй половине XIX века // Сборник трудов XIII Международной отраслевой научно-технической конференции "Технологии информационного общества". – М.: Медиа Паблишер, 2019. Т. 2. С. 286–291.
25. Белин А. Основы устройства воздушных телеграфных и телефонных линий. – СПб, 1893.
26. Федоров И.И. (перевод). Индо-Европейская телеграфная линия // Почтово-телеграфный журнал, отдел неофициальный. 1890. С. 79–90.
27. Improvements in Insulators for Telegraph Line Wires, and in the Means of Securing the Wires there to: пат. № 4171 Великобритании / Guilherme Schuch de Capanema. Заявл. 19.12.1873, приоритет 29.05.1874.
28. Fixing the Insulators of Electric Telegraphs: пат. № 522 Великобритании / J.H.Cordeaux. Приоритет 7.02.1877.
29. Insulator for telegraph wires: пат. № 48906 США / L.A.Chauvet. Приоритет 25.07.1865.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 975 руб.

ГИПЕРФАЗОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ — ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ В ГАУССОВСКИХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Быховский М.А.

Монография посвящена актуальным вопросам, связанным с выбором для проектируемых систем связи многомерных ансамблей сигналов, позволяющих передавать сообщения по каналам связи с максимально возможной скоростью (максимальной спектральной эффективностью).

В монографии представлен ряд новых результатов. В ней изложены новые методы определения вероятности ошибки при приеме многомерных сигналов, позволившие обобщить теорему Шеннона о пропускной способности непрерывного канала связи на случай, когда сигналы имеют ограниченную длительность и известна требуемая вероятность ошибки, возникающей при их демодуляции принятых сигналов. В книге развиты конструктивные методы построения многомерных ансамблей объемно- и поверхностно-сферических сигналов, которые, как было показано Шенноном, являются оптимальными для передачи сообщений в канале связи с белым гауссовым шумом. Предложен метод оценки энергетической эффективности систем связи, использующийся для сравнения систем связи, в которых применяются разные методы модуляции и разные помехоустойчивые коды.

Книга адресована научным работникам и инженерам — специалистам в области разработки и проектирования новых наземных и спутниковых телекоммуникационных систем связи, цифрового вещания, а также для аспирантов и студентов инфокоммуникационных и радиотехнических специальностей.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2019. – 310 с.
ISBN 978-5-94836-478-0

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1430 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1430 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosfera.ru



Стоимость 1056 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1287 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1716 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru