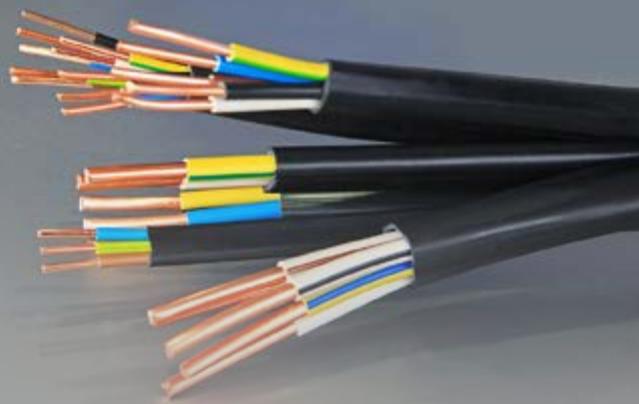




К.К. Абрамов, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник;
М.В. Шолуденко, канд. техн. наук, заведующий отделом;
ОАО «ВНИИКП»

КАБЕЛИ СВЯЗИ С МЕДНЫМИ ЖИЛАМИ. Настоящее и будущее



Аннотация. Статья посвящена наиболее важным работам института в области разработки и постановки на производство кабелей связи различного назначения, кабелей для сигнализации и блокировки, кабелей для цепей управления и контроля и кабелей комбинированных герметизированных.

В статье показано, что с развитием систем связи и увеличением рабочего диапазона частот институтом проводились масштабные работы по совершенствованию конструкции и технологии производства кабелей связи различного назначения с применением новых материалов.

В статье отмечено, что внедрение новых материалов и освоение производства новых кабелей связи проводились одновременно с освоением новых технологий и нового оборудования на нескольких кабельных заводах.

Большое внимание в статье уделено вопросам стандартизации, повышению качества, эксплуатационной надежности и удобства эксплуатации кабелей связи в кабельных линиях связи различного назначения.

Ключевые слова: кабели связи; кабели для сигнализации и блокировки; волноводы; разработка и освоение производства; освоение новых технологий; внедрение нового оборудования; пленко-пористая изоляция; влагонепроницаемость.

Abstract. The paper is dedicated to the most important Institute activities in the field of development and production of communication cables for various applications, cables for signal and block systems, control cables and sealed hybrid cables.

It is shown that following the development of communication systems and the extension of operating frequency range the Institute carried out extensive work aimed at improving the communication cable designs and production technologies with the use of new materials.

It is noted that the introduction of new materials and commissioning of new communication cable designs took place at the same time as the new equipment and new technologies were introduced at several cable plants.

The paper gives much attention to the problems of standardization, quality improvement, operation reliability and serviceability of communication cables in various purpose communication cable lines.

Key words: communication cables; cables for signal and block systems; waveguides; development and production; introduction of new technologies; introduction of new equipment; skin-foam insulation; moisture resistance.

Материал поступил в редакцию 17.08.2017
E-mail: vniikp@vniikp.ru; casi4@yandex.ru

Развитие кабелей связи неразрывно связано с развитием единой автоматизированной системы связи, в дальнейшем взаимоувязанной системой связи страны и применяемыми системами передачи.

Основным вектором развития кабелей связи является расширение частотного диапазона с целью многократного уплотнения цепей, то есть одновременной передачи по одной паре жил значительного числа информации (передача голоса и передача данных). Поэтому, если раньше число действующих связей определялось числом физических кабельных цепей, то в дальнейшем пропускная способность кабеля стала определяться системой передачи и получаемым числом каналов связи, а в настоящее время ещё и скоростью передачи информации.

Основными направлениями деятельности ВНИИКП в области кабелей связи является внедрение новых материалов и технологий с целью повышения качества, эксплуатационной надёжности и удобства эксплуатации и обслуживания кабелей связи в кабельных линиях различного назначения.

Городские телефонные кабели связи до последнего времени имели наибольший объём производства из всей

группы кабелей связи и занимали одно из важнейших мест в работах института.

В 50–60-е годы прошлого века началось широкое освоение производства телефонных кабелей с трубчато-бумажной или кордельно-бумажной изоляцией в свинцовой оболочке с числом пар до 1200 на заводах «Электрокабель», «КЗКС», «Москабель». В конце 60–70-х годов институтом проведены масштабные работы по разработке и постановке на производство телефонных кабелей со сплошной полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке с экраном из алюминиевой ленты. Проведённые широкомасштабные исследования показали, что новые кабели по электрическим параметрам и показателям надёжности не уступают кабелям с бумажной изоляцией в свинцовой оболочке, а по технологичности и экономичности намного их превосходят.

Освоение производства новых кабелей проводилось одновременно с освоением новой технологии и нового оборудования для изолирования жил и новой технологии разнонаправленной скрутки изолированных жил. При этом освоение производства проводили одновременно на нескольких кабельных заводах.



В 70–80-е годы продолжалось совершенствование конструкций и технологии производства телефонных кабелей. В первую очередь это относится к внедрению экрана из алюмополимерной ленты, который в процессе производства прочно сваривается с полиэтиленовой оболочкой, образуя комбинированную оболочку «альпэт», препятствующую диффузии влаги через оболочку. Ещё одной новацией являлось заполнение внутреннего пространства сердечника гидрофобным наполнителем, обеспечивающее продольную влагонепроницаемость кабеля в случае механического повреждения оболочки. Дальнейшая модернизация конструкции телефонных кабелей относится к переходу на пленко-пористую изоляцию жил и увеличение рабочего диапазона частот для использования в системах передачи DSL, ADSL, VDSL, HDSL.

В 60-е годы с целью замены дефицитного свинца вместо свинцовых оболочек были освоены и нашли применение алюминиевые оболочки и сварные стальные гофрированные оболочки практически для всех типов кабелей связи.

Наложение поверх металлических оболочек слоя битума и полиэтиленовой оболочки по существу сняли вопрос защиты кабелей от коррозии в процессе эксплуатации.

Разработка специального магистрального симметричного кабеля управления, муфт к нему и методов их монтажа в полевых условиях оказалась одной из самых важных и сложных задач, решаемых институтом в начале 70-х.

Кабель и муфты к нему в кабельной линии обладают повышенной электрической и механической прочностью и обеспечивают бесперебойную передачу сигналов в течение всего срока службы. Для обеспечения высокой надёжности были разработаны новые высоконадёжные кабельные материалы с гарантированным сроком службы.

В 60–70-е гг. для передачи электромагнитной энергии СВЧ диапазона частот и для соединения передающих и приёмных устройств радиоустановок, радиорелейных, тропосферных и радиолокационных станций разработана серия гофрированных овальных и эллиптических волноводов для различного диапазона частот. В 2007–2009 гг. разработана серия гофрированных коконообразных волноводов для СВЧ диапазона частот. Коконообразные гофрированные волноводы типа КВГ предназначены для работы в радиотехнических, радиолокационных системах и системах связи СВЧ диапазона.

В 1991–1996 гг. ВНИИКП совместно с СКК (г. Самара) проведены масштабные работы по разработке кабелей связи магистральных симметричных высокочастотных для аналоговых и цифровых систем передачи. В процессе работ впервые в отечественной практике была освоена технология наложения трёхслойной плёно-пористой изоляции жил методом физического вспенивания, а также технология наложения алюминиевой оболочки методом сварки. Кабели применяются для прокладки вдоль электрифицированных железных дорог для эксплуатации в аналоговых и цифровых системах передачи со скоростью 34 368 кбит/с.

С целью обеспечения продольной влагонепроницаемости кабелей, в случае повреждения оболочки, в 1995–2000 гг. проведены масштабные работы по освоению и внедрению в серийное производство кабелей связи и кабелей для сигнализации и блокировки с гидрофобным наполнителем.

В 2002–2006 гг. ВНИИКП совместно с заводами СКК, Сарансккабель разработал серию влагонепроницаемых кабелей дальней и местной связи, железнодорожной автоматики и телемеханики, комбинированных кабелей

с оптическими волокнами и медными жилами с водоблокирующими материалами для наружной прокладки.

Новые типы кабелей с водоблокирующими материалами обеспечивают продольную влагонепроницаемость кабелей, что существенно повышает надёжность и стабильность электрических параметров кабельных линий при длительной эксплуатации.

По сравнению с кабелями с гидрофобным наполнением сердечника разработанные кабели с водоблокирующими материалами обладают следующими преимуществами:

а) не требуют длительной и тщательной подготовки элементов кабелей при проведении монтажных и ремонтно-восстановительных работ на кабельных линиях;

б) контрольная жила, введённая в конструкцию кабелей с водоблокирующими материалами, обеспечивает возможность непрерывного мониторинга целостности оболочки кабелей в процессе длительной эксплуатации.

На рис. 1 приведена конструкция сердечника комбинированного кабеля связи с оптическими волокнами и медными жилами с водоблокирующими материалами.

В 2005–2012 гг. для прокладки внутри зданий и сооружений разработана серия пожаробезопасных кабелей для систем связи, железнодорожной автоматики и телемеханики.

Разработанные кабели соответствуют современным требованиям пожарной безопасности. Кабели связи с индексом нг(A)-LS и нг(A)-HF широко используются для групповой прокладки в тоннелях, коллекторах, в общественных зданиях и многоквартирных домах. Отечественные кабели для сигнализации и блокировки с индексами нг(A)-HF применяются для групповой прокладки в подземных и надземных сооружениях метрополитена. Они заменили импортные аналоги, которые применялись ранее для этих целей.

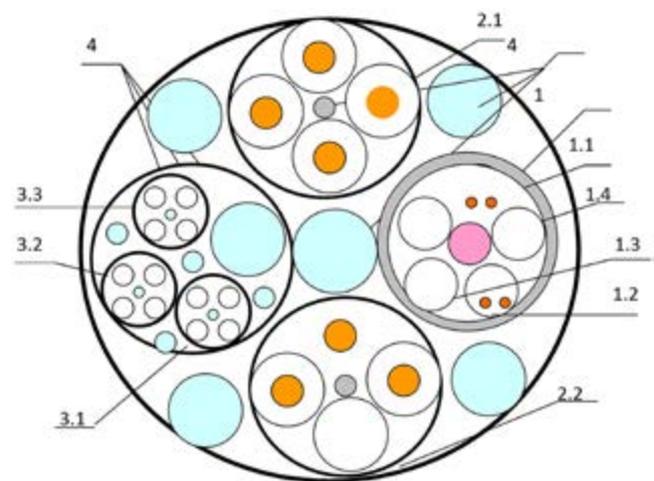


Рис. 1. Сердечник комбинированного кабеля с оптическими волокнами и медными жилами:

- 1 – оптический элемент;
- 1.1 и 1.2 – оптические модули красного и зеленого цвета соответственно;
- 1.3 – модуль-заполнитель из полиэтилена;
- 1.4 – центральный силовой элемент из стеклопластика;
- 2.1 и 2.2 – четверки высокочастотные красного и зеленого цвета соответственно;
- 3 – вспомогательный пучок;
- 3.1, 3.2, и 3.3 – вспомогательные четверки синего, желтого и коричневого цвета соответственно;
- 4 – кордели-заполнители из водоблокирующего материала

В 2009–2012 гг. ВНИИКП совместно с заводами «Энергокабель» и «Кирскабель» разработал серию пожаробезопасных и огнестойких кабелей для цепей управления и контроля, предназначенных для присоединения измерительных преобразователей и испытательных механизмов к контрольно-техническим средствам АСУТП на атомных станциях (АЭС) в системах безопасности.

Сердечник кабеля скручен из элементарных четырёхпарных пучков. При этом каждая изолированная жила в элементарном пучке имеет индивидуальную основную расцветку, а также дополнительную расцветку в виде поперечных колец чёрного цвета, что существенно облегчает идентификацию жил при проведении монтажных работ на АЭС.

Специально подобранные полимерные материалы, не содержащие галогенов, обеспечивают проведение надёжного монтажа и высокую плотность монтажа на стойках SAE АЭС.

В 1993–2003 гг. проведены масштабные работы по модернизации и освоению на ряде отечественных предприятий полевых распределительных кабелей связи и комплектующих изделий к ним. Строительные длины кабеля и комплектующие изделия к ним снабжаются соединительными полумуфтами, которые обеспечивают соединение строительных длин между собой и с другими комплектующими изделиями. Кабели и комплектующие изделия к ним предназначены для развертывания абонентских линий и распределительных сетей связи в полевых условиях.

В 2016–2017 гг. ВНИИКП разработал серию кабелей комбинированных герметизированных. Грузонесущий глубоководный комбинированный кабель предназначен для механического соединения подвижного подводного объекта с лебедкой носителя, передачи электрической энергии по силовым жилам и обмена данными по технологии VDSL2 при воздействии внешнего гидростатического давления до 45 МПа. Поперечное сечение кабеля показано на рис. 2.

Ещё одним направлением работы ВНИИКП в области кабелей телекоммуникационного назначения является стандартизация. Так, совместно с предприятием «Спецкабель» разработан стандарт на «Кабели коаксиальные для сетей кабельного телевидения». Этот стандарт распространяется на кабели коаксиальные, предназначенные для эксплуатации в сетях кабельного телевидения, в том числе в системах эфирного, эфирно-кабельного и спутникового телевидения, а также в системах видеонаблюдения и передачи данных и в других системах связи в диапазоне от 5 до 3000 МГц.

В 2000–2011 гг. «ВНИИКП» совместно с фирмой «АйТи» разработан стандарт «Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи». Стандарт распространяется на кабели связи симметричные для цифровых систем передачи, предназначенные для эксплуатации в структурированных кабельных системах и в сетях широкополосного доступа в частотном диапазоне до 1000 МГц.

ВНИИКП совместно с кабельными заводами разработан стандарт «Кабели для сигнализации и блокировки». Стандарт распространяется на кабели для сигнализации

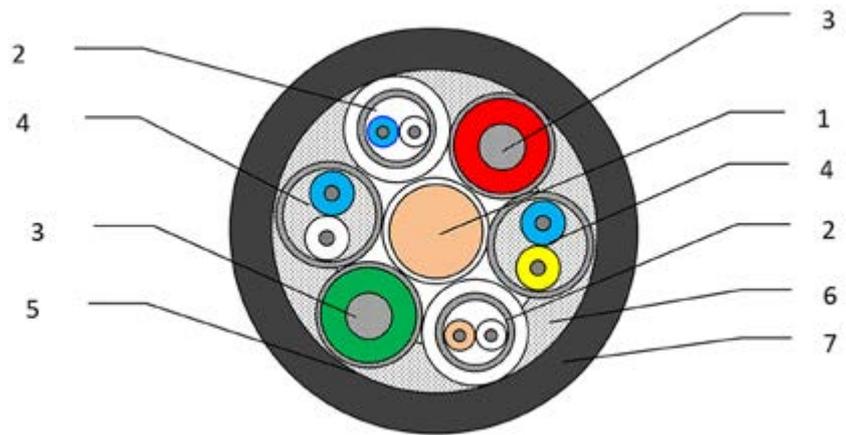


Рис. 2. Поперечное сечение грузонесущего комбинированного герметизированного кабеля:

- 1 – грузонесущий элемент – трос;
- 2 – симметричная экранированная пара (СЭП);
- 3 – экранированная изолированная силовая жила (ЭИСЖ);
- 4 – экранированная пара силовых жил (ЭПСЖ);
- 5 – обмотка лентой;
- 6 – заполнение герметизирующим составом;
- 7 – наружная оболочка

и блокировки, предназначенные для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, электрических установок сигнализации и блокировки общепромышленного применения и пожарной сигнализации автоматики на номинальное напряжение до 380 В, а также для организации монтажных цепей и технологической связи в диапазоне частот от 25 до 20000 Гц.

Разработка новых типов кабелей телекоммуникационного назначения потребовало ряда теоретических исследований.

В настоящее время с переходом на цифровые системы передачи информации большое внимание институт уделяет разработкам симметричных кабелей связи для передачи цифровых сигналов с частотами до 1–2 ГГц. Кабели создаются для работы в разных внешних средах и температурных условиях, в них реализуются разные конструктивные решения с использованием современных кабельных материалов. Разработка кабеля включает поиск конструкции цепей (пар) кабеля с использованием подходящих материалов изоляции и с заданным волновым сопротивлением Z_c (часто 100 Ом). Как известно, концевые и распределенные неоднородности в кабелях снижают качество и надёжность передачи по ним цифровых сигналов, поэтому первым выполняется требование к волновому сопротивлению Z_c .

На высоких частотах Z_c почти не зависит от частоты, поэтому можно принять $Z_c = \sqrt{L/C}$, где C – ёмкость пары, $L \approx const$ – её индуктивность при сильно выраженном скин-эффекте. В ТЗ на кабель может быть задана ёмкость C или скорость распространения сигнала v . Если задана ёмкость, индуктивность должна быть равна $L = Z_c^2 \cdot C$, если – скорость $v = 1/\sqrt{L \cdot C}$, то $C = 1/(v \cdot Z_c)$ и $L = Z_c/v$. Значения L и C рассматриваются как два одновременных требования к кабелю. По ним ищут конструктивные параметры кабеля, сохраняя отношение L/C постоянным, равным квадрату волнового сопротивления. Геометрические размеры элементов кабеля определяют, начиная с диаметра токопроводящей жилы d_0 . Диаметр или сопротивление жилы постоянному току обычно задают

техническим заданием. Используя многовариантный метод расчёта индуктивностей, подбирают диаметр изолированной жилы d_1 и минимально возможный диаметр экрана d_e . Когда геометрические размеры, соответствующие L , найдены, переходят к расчёту ёмкости и определению подходящих параметров элементов комбинированной изоляции. Если применяется пленко-пористая изоляция жил, то вычисляют, какой должна быть её диэлектрическая проницаемость и процентное содержание газа в ней. Расчёты выполняются с применением компьютерных программ. Для расчёта ёмкости используется алгоритм, описанный в [1] непосредственно.

Современные компьютеры открыли принципиально новые расчётные возможности, позволяя вместо приближённых инженерных формул применять общие методы, детально и точно отражающие реальные особенности структуры и конструкции кабеля, свойства материалов его изоляции. Ниже в постановке [2] показан метод расчёта ёмкостей рабочих и других цепей кабеля на основе расчёта матриц потенциальных коэффициентов вычисляемых на основе модели обобщённого кабеля и по ним – частичных ёмкостей. Выполняется расчёт матрицы потенциальных коэффициентов $(\alpha_{i,k})$ с использованием модели обобщённого кабеля, где параметры $(\alpha_{i,k})$ непосредственно вычисляются через конструктивные параметры кабеля. Зависимости $(\alpha_{i,k})$ от конструкции получены на основе решения краевой электростатической задачи, которое приведено к виду

$$(u_k) = (\alpha_{ki}) \cdot (q_i), \quad (1)$$

где (u_k) – вектор (матрица-колонка) напряжений цепей «жила–экран» кабеля;

(q_i) – вектор (матрица-колонка) зарядов этих же цепей.

Находят зависимости зарядов от напряжений, преобразовав уравнение (1) к виду

$$(q_i) = (\beta_{i,k}) \cdot (u_k),$$

где $(\beta_{i,k})$ – матрица ёмкостных коэффициентов, которая обратна матрице потенциальных коэффициентов, то есть $(\beta_{i,k}) = (\alpha_{ki})^{-1}$.

С ёмкостными коэффициентами связаны частичные ёмкости кабеля, имеющие только положительные значения $c_{i,k} = -\beta_{i,k} > 0$ – взаимная ёмкость i -й и k -й жил; $c_{k,0} > 0$ – частичная ёмкость k -й жилы по отношению к экрану;

$c_{k,k} = c_{k,0} + c_{k,2} + \dots + c_{k,0} + \dots c_{k,m} = \beta_{k,k} > 0$ – ёмкость k -й жилы по отношению к экрану и остальным жилам, соединенным с экраном и землей.

Искомые ёмкости цепей определяют по частичным ёмкостям. Так рабочая ёмкость первой пары равна $C_{11} = 0,25 (c_{11} + c_{22} + c_{12} + c_{21})$.

Для индуктивности и активного сопротивления алгоритм расчёта аналогичен, построен по решению краевой задачи, определяющей магнитное поле кабеля. Расчёт индуктивности цепи проводят, подбирая конструктивные параметры с поочередным контролем значений L и C .

Широкое внедрение оптических кабелей связи, которые обеспечивают передачу большого объёма информации на дальнее расстояние, вызвало серьёзные изменения в области производства и применения кабелей с медными жилами на сетях связи страны. В настоящее время при строительстве новых линий связи применяются оптические кабели связи. Кабели связи магистральные, а также кабели зонной, сельской и местной связи используются в основном для ремонтных целей, а также для расширения или модернизации действующих систем связи.

Кроме того, кабели связи с медными жилами используются для организации систем технологической связи различных организаций, где требуется не только передача информации, а также передача дистанционного питания для различных управляющих систем.

Беспрецедентный рост объёмов и скорости передачи информации вызвал появление нового типа кабелей (LAN-кабели) – симметричных кабелей связи для цифровых систем передачи. Указанные кабели широко применяются в структурированных кабельных системах по ISO/МЭК 11801, а также в сетях широкополосного доступа в диапазоне частот до 1000 МГц. В настоящее время проводятся опытные работы с целью увеличения диапазона частот до 2000 МГц и выше.

Наличие широкой номенклатуры комплектующих изделий LAN-кабелей связи с медными жилами позволяет обеспечить более экономичную высокочастотную передачу данных на небольшие расстояния по сравнению с решениями на оптических кабелях.

Всё более широкое применение симметричные кабели связи для цифровых систем передачи находят для организации в промышленности и специальных областях.

Перспективными направлениями развития кабелей связи являются следующие:

- повышение рабочего диапазона частот;
- повышение рабочего диапазона температур для эксплуатации в экстремальных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов К.К. Расчёт электрических ёмкостей многожильного кабеля с комбинированной изоляцией // Кабели и провода. – 2009. – № 3. – С. 3–7.
2. Абрамов К.К. Модель конструкции обобщённого кабеля связи // Кабели и провода. – 2008. – № 2. – С. 13–17.