

М.К. Каменский, канд. техн. наук, заместитель заведующего отделением;

Т.А. Недайхлиб, старший инженер.

А.А. Фрик, канд. техн. наук, заведующий лабораторией;

ОАО «ВНИИКП»

Кабели силовые с токопроводящими жилами из сплавов алюминия для электропроводок в жилых зданиях

Аннотация. ОК «РУСАЛ» разработаны сплавы алюминия серии 8000, обладающие рядом преимуществ по сравнению с электротехническим алюминием. С целью повышения потребления алюминия осуществлена разработка и освоено промышленное производство кабелей и проводов с токопроводящими жилами (ТПЖ) из этих сплавов. Выполнены комплексные исследования по оценке возможности применения кабелей и проводов с ТПЖ из сплавов алюминия для электропроводок в жилых и общественных зданиях. На основании положительных результатов выполненных исследований рекомендовано изменение федеральных норм по выбору и применению кабелей и проводов в электропроводках зданий.

Ключевые слова: токопроводящая жила; сплавы алюминия; термообработка сплава; контактные соединения; электроустановочные изделия; переходное электрическое сопротивление; допустимая температура нагрева; физико-механические характеристики; области применения кабелей; электропроводка.

Abstract. ОК «RUSAL» developed 8000 series aluminum alloys having a number of advantages over electrical aluminum. Cable and wire with current carrying conductors made of these alloys were developed and put into commercial production with the aim of increasing aluminum consumption. Comprehensive investigations were carried out to assess the feasibility of using cable and wire with aluminum alloy conductors for electrical wiring in residential and commercial buildings. Based on positive results of the performed investigations it is recommended to amend the federal regulations concerning the selection and application of cable and wire in building wiring.

Key words: current carrying conductor; aluminum alloys; heat treatment of alloy; contact connections; wiring products; transient electrical resistivity; allowable heating temperature; physical and mechanical characteristics; cable applications; electrical wiring.

Материал поступил в редакцию 15.05.2018
Каменский М.К. E-mail: kamenskiy@vniikp.ru

Действующая нормативная документация, регламентирующая выбор и применение кабелей и проводов для электропроводок в жилых и общественных зданиях [1, 2], ориентирует проектные и монтажные организации на выполнение внутренних открытых электропроводок кабелями и проводами, не распространяющими горение, с медными жилами. Прекращение применения кабелей и проводов с алюминиевыми жилами начиная с 2003 г. было аргументировано стремлением обеспечить надёжность электроснабжения потребителей и повысить пожарную безопасность в жилом секторе. В качестве основных недостатков электропроводок, выполненных кабелями и проводами с алюминиевыми токопроводящими жилами (ТПЖ), отмечалась жёсткость алюминиевых однопроволочных жил, приводящая к излому при монтаже и эксплуатации, а также постоянный ежегодный рост пожаров в жилом секторе, к которым, по данным органов пожарной безопасности, причастны электропроводки [3].

Более детальный анализ причин отказа от применения кабельных изделий с ТПЖ из алюминия, выполненный Международной ассоциацией экспертов электриков (IAEI), проводившей изучение опыта эксплуатации электропроводок

в США [4], позволил установить, что основной причиной неисправности и отказов электропроводки при эксплуатации являются дефекты контактных соединений ТПЖ из алюминия с электроустановочными изделиями. Конструктивным недостатком серийных контактных соединений по заключению экспертов является применение винтов из стали, что приводит к ослаблению контактного соединения алюминиевой жилы и контактируемых поверхностей при нагреве и охлаждении, вызванному существенным различием коэффициентов линейного расширения алюминия и стали. Поэтому такие контактные соединения нуждаются в периодическом обслуживании в эксплуатации.

На стабильность контактных соединений ТПЖ из алюминия с разъёмами существенное влияние оказывает ползучесть алюминия. При воздействии постоянной нагрузки и повышенной температуры происходит рост деформации алюминиевых жил (изменение геометрических размеров), что также приводит к росту переходного электрического сопротивления и повышению температуры в зоне контакта.

На основании выводов и рекомендаций экспертов в США не был введён запрет на применение кабелей с алюминиевыми жилами для электропроводок, а были выработаны

Таблица 1

Физико-механические и электрические характеристики катанки из сплавов алюминия

Марка сплава	Характеристики		
	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение не менее, %	Удельное электрическое сопротивление, Ом*мм ² /м, не более
8176	115–140/60–110*	12/32*	0,0287/0,286*
8030	115–140/60–110*	12/32*	0,0287/0,286*

* Для термически обработанной катанки

Таблица 2

Химический состав сплавов серии 8000

Марка сплава	Массовая доля, % по массе, не более									
	Al	Fe	Основных компонентов						Прочих компонентов, не более	
			Si	Mg	Cu	Zn	Ga	Сумма Ti, V, Cr, Mn	Каждого	Всего
8176	основа	0,40–0,65	0,07	0,02	0,01	0,04	0,01	0,015	0,03	0,15
8030	основа	0,35–0,55	0,07	0,02	0,15–0,20	0,04	0,01	0,015	0,03	0,10

технические и организационные меры, направленные на повышение их надежности при эксплуатации.

Одной из таких мер было проведение исследований и создание сплавов на основе алюминия, которые по степени ползучести близки к электротехнической меди, и освоение производства кабелей с ТПЖ из этих сплавов [5]. Кроме того, была разработана и стандартизована технология монтажа кабелей и оконцевания ТПЖ, соблюдение которой позволило обеспечить высокое качество выполнения электропроводок.

Основываясь на международном опыте, российская компания «РУСАЛ» осуществила разработку аналогичных сплавов алюминия серии 8000 и освоила производство катанки для ТПЖ кабелей [6].

Основные физико-механические и электрические характеристики катанки из сплавов алюминия марок 8176 и 8030 и химический состав сплавов приведены в табл. 1 и 2. Благодаря наличию в алюминиевых сплавах железа были достигнуты свойства, позволившие в значительной мере минимизировать недостатки электротехнического

алюминия (низкая стойкость к изгибам, ползучесть), которые проявлялись при использовании кабелей и проводов в электропроводках зданий.

В соответствии с поручением Правительства РФ о мерах по повышению потребления алюминия по предложению ОК «РУСАЛ» силами ОАО «ВНИИКП» с привлечением ФГБУ ВНИИПО МЧС РОССИИ и ряда предприятий была выполнена комплексная НИОКР по разработке и освоению промышленного производства серии кабелей и проводов с ТПЖ из сплавов алюминия для применения в электропроводках жилых и общественных зданий. Так как кроме решения технических аспектов по созданию кабелей и технологии их производства требовалось решение вопросов, связанных с изменением нормативной базы, регламентирующей применение кабелей с ТПЖ из сплавов алюминия, то в практической реализации результатов исследований приняли участие организации, приведённые на рис. 1.

В результате публичного обсуждения и анализа официальных отзывов и заключений была скорректирована программа исследований и выработаны предложения, которые легли в основу рекомендаций по применению кабелей с ТПЖ из сплавов алюминия и внесению изменений в действующую нормативную документацию по выбору кабелей для электропроводок в зданиях.

Разработка серии кабелей и технологии их производства осуществлены совместно с АО «Иркутсккабель», где были отработаны технологические режимы волочения и термообработки проволоки из сплавов алюминия, а также режимы изолирования и скрутки изолированных жил. Режимы волочения и термообработки ТПЖ из сплавов являются определяющими в технологии производства, их соблюдение гарантирует заданные физико-механические характеристики и эксплуатационные свойства жил кабелей и проводов. Эти режимы составляют основу НОУ-ХАУ завода-изготовителя. Изготовление образцов кабелей при отработке технологии термообработки (отжига) показало,



Рис. 1. Участники реализации проекта

Таблица 3

Изменение характеристик ТПЖ из сплавов алюминия в процессе изготовления опытных образцов кабеля АсВВГ 4×2,5 в условиях нормального режима

Контролируемый параметр и единица измерения	Значение параметра ТПЖ							
	До термообработки сплавов			После термообработки сплавов		В готовом кабеле		
	АПТ	8176	8030	8176	8030	АПТ	8176	8030
1. Диаметр проволоки, мм	1,79	1,79	1,79	1,77	1,74	1,79 1,79 1,79	1,68 1,68 1,68	1,63 1,62 1,59
2. Относительное удлинение после разрыва, %	2,3	1,0	1,5	17,5	27	1,2 1,2 1,3	14,8 12,7 13,6	14,1 12,1 16,2
3. Число двойных перегибов	5	–	–	26	38	5	12	14
4. Электрическое сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом·км	11,0	11,3	11,1	11,1	11,0	11,2 11,2 11,2	12,6 12,8 12,9	13,2 13,5 13,8

Таблица 4

Программа предварительных испытаний ТПЖ из сплавов алюминия

Характеристики ТПЖ	Методы испытаний
Определение физико-механических характеристик ТПЖ	<ul style="list-style-type: none"> ГОСТ 10446–80. Проволока. Метод испытания на растяжение. ГОСТ 1579–93. Проволока. Метод испытания на перегиб. ГОСТ 12182–80. Кабели, провода и шнуры. Методы проверки стойкости к многократному перегибу через систему роликов.
Определение динамики изменения переходного электрического сопротивления контактов в электроустановочных изделиях при присоединении ТПЖ	<ul style="list-style-type: none"> ГОСТ 10434. Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические условия. ГОСТ 17441. Соединения контактные электрические. Приёмка и методы испытаний.
Оценка пожарной опасности по зажигательной способности частиц металлов при коротком замыкании	<ul style="list-style-type: none"> Методика ВНИИПО МВД СССР

Таблица 5

Результаты испытаний ТПЖ на стойкость к перегибу

Токопроводящая жила	Материал жил	Число перегибов
1. Однопроволочная, сечение 2,5 мм ² (класс 1)	АЛКП-ПТ	5
	8176	14
	8030	12
	Медь	10
2. Многопроволочная, сечение 2,5 мм ² (класс 3)	8176	49
	8030	47
3. Однопроволочная, сечение 1,5 мм ² из кабеля марки КВВГ (класс 1)	Медь	10

Примечание: Приведены среднеарифметические значения по результатам испытаний трех образцов токопроводящих жил каждого исполнения.

Таблица 6

Результаты испытания гибкого кабеля с ТПЖ из сплавов алюминия на стойкость к перегибу через систему роликов

Материал токопроводящей жилы	Образец, номер жилы в кабеле	Наружный диаметр токопроводящей жилы в исходном состоянии, мм	Число циклов перегиба	Наружный диаметр токопроводящей жилы после испытаний, мм
Сплав 8030	1	1,98	1500	1,95
	2	1,943	1800	1,93
	3	1,914	3500	1,69
Сплав 8176	1	1,99	2400	1,975
	2	1,97	6900	1,94
	3	1,95	7100	1,89

что некоторые температурно-временные режимы приводят к вытяжке ТПЖ на операциях изолирования и скрутки кабеля, что показано в табл. 3.

Для оценки свойств ТПЖ из сплавов алюминия были изготовлены образцы кабелей марки АсВВГ 4×2,5 с одно-

проволочной жилой и образцы кабеля с многопроволочной жилой класса 3. Программа предварительных испытаний опытных образцов кабелей приведена в табл. 4.

Результаты сравнительных испытаний образцов кабелей с однопроволочными и многопроволочными ТПЖ из алюминия,

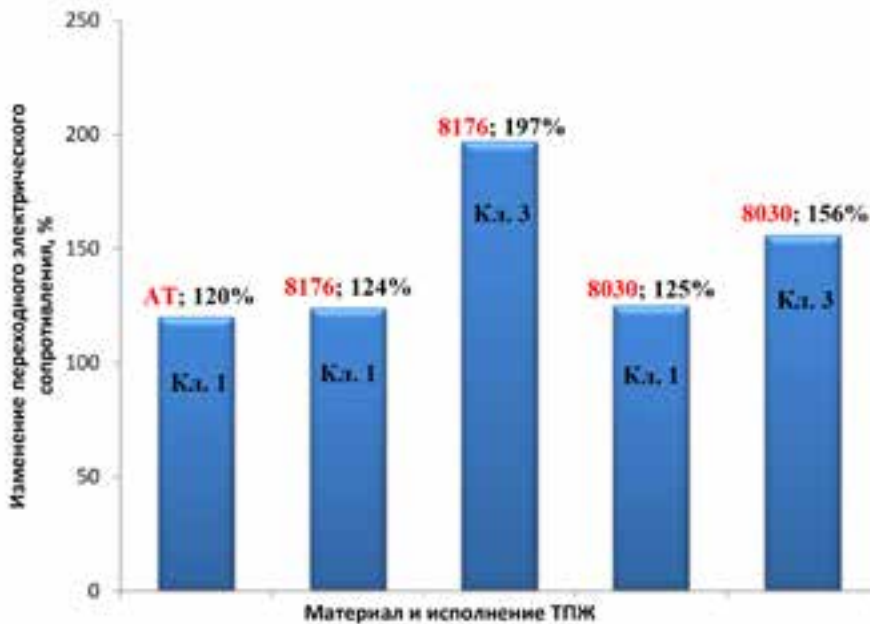


Рис. 2. Изменение переходного сопротивления контактных соединений ТПЖ после воздействия циклического нагрева

меди и сплавов 8176, 8030 по определению стойкости к двойным перегибам по ГОСТ 1579–93 приведены в табл. 5. Результаты испытаний образцов кабелей с ТПЖ класса 3 из сплавов алюминия на стойкость к многократному перегибу через систему роликов по ГОСТ 12182–80 приведены в табл. 6.

Испытания показали, что однопроволочные ТПЖ из сплавов алюминия по стойкости к двойным перегибам не уступают ТПЖ из меди. При этом токопроводящие жилы класса 3 из сплавов алюминия марок 8176 и 8030 по устойчивости к многократному перегибу могут быть использованы для изготовления кабелей нестационар-

соединителей типа «скрутка с зажимом» и винтовых соединителей.

Приведённые на рис. 3 результаты измерений электрического сопротивления контактных соединений при циклическом нагреве допустимым током нагрузки 24 А показали, что все типы ТПЖ из сплавов алюминия и электротехнического алюминия не могут быть рекомендованы для соединений скруткой с зажимом без применения мер по стабилизации переходного электрического сопротивления.

С учётом рекомендаций приёмочной комиссии и предложенной профильных технических комитетов ТК 46 и ТК 337 была изготовлена установочная серия кабелей с ТПЖ из сплавов 8176 и 8030 сечением 2,5–10 мм² для проведения проверки стабильности контактных соединений ТПЖ с базовыми типами современных электроустановочных изделий, применяемых для выполнения электропроводок.

Основные характеристики ТПЖ кабелей установочной серии, изготовленных по зафиксированному технологическому регламенту на АО «Иркутсккабель» приведены в табл. 7.

Испытания базовых типов контактных соединений (за исключением соединений по типу «скрутка с зажимом») электроустановочных изделий с ТПЖ из сплавов алюминия были выполнены предприятиями Ассоциации «Росэлектромонтаж». Перечень электроустановочных изделий, подвергнутых испытаниям по оценке стабильности контактных соединений, приведён в табл. 8. Были проведены испытания всех типов соединителей на соответствие требованиям ГОСТ 10434–82 по стойкости к нагреву длительно допустимым током нагрузки, стойкости к циклическому нагреву и стойкости к сквозным токам при коротком замыкании.

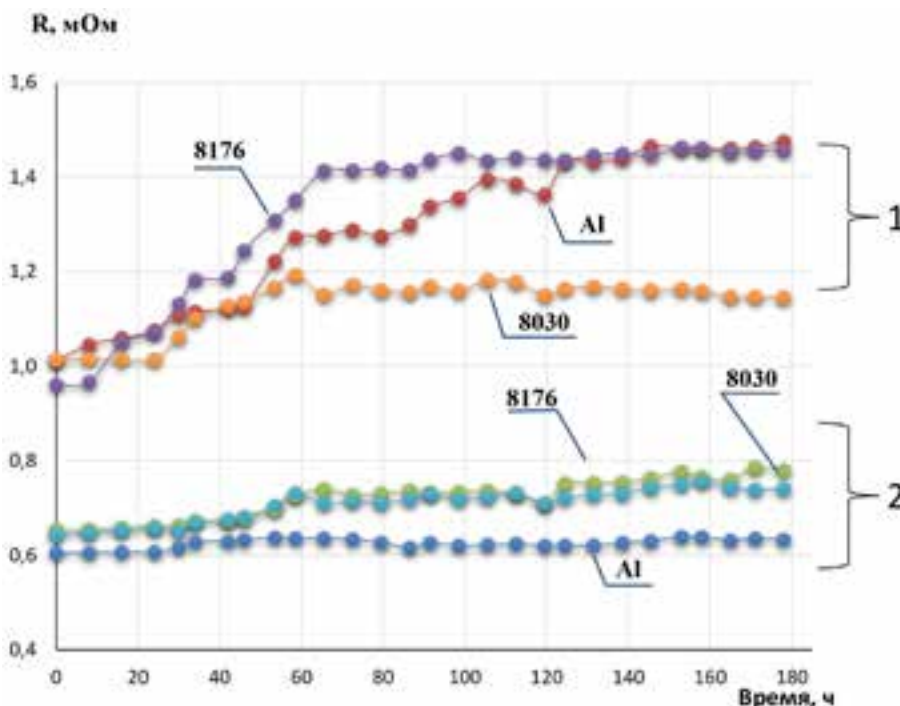


Рис. 3. Динамика изменений электрического сопротивления контактных соединений при циклическом нагреве. 1-контактное соединение «скрутка с зажимом» 2-контактное винтовое соединение

Таблица 7

Основные характеристики ТПЖ кабелей установочной серии

Характеристики ТПЖ, ед. измерения	Измеренное значение параметра					
	ТПЖ из сплава 8176			ТПЖ из сплава 8030		
	Сечение ТПЖ, мм ²					
	2,5	4,0	10	2,5	4,0	10
1. Временное сопротивление, Н/мм ²	123,1	103,8	92,5	109,8	107,9	91,8
2. Относительное удлинение после разрыва, %	3,5	8,1	15,9	6,3	6,5	12,7
3. Число двойных перегибов	16	23	22	20	23	21
4. Электрическое сопротивление постоянному току при 20 °С, Ом·км	11,73	7,33	2,93	11,70	7,1	2,95

Таблица 8

Перечень электроустановочных изделий, подвергнутых испытаниям на стабильность контактных соединений с ТПЖ из сплавов алюминия

Наименование электроустановочных изделий	Марка, тип исполнения электроустановочного изделия
1. Розетки с винтовым контактом и прижимной планкой на 16 А	1.1 Розетка LEGRAND, Mosaic DLP 2K+3 безвинтовые зажимы LEG 077401 1.2 Розетки LEGRAND, SUNO LEG 774616, LEG 774016 1.3 Розетка LEGRAND, SUNO LEG 774616 с доработанными контактами 1.4 Розетка Белая Церковь БЦ 3С 10-305 1.5 Розетки Schneider PA16-003 и GSL00.4 1.6 Розетка Schneider PA16-007B(двойная) 1.7 Розетка каб. 16 А, 3P+N+E IP44 скр 415 В угл/флан мин CEWE 416RAM6
2. Розетки с винтовым контактом и прижимной планкой на 32 А	2.1 Розетка LEGRAND, Plexo IP 44-IK 08 2P+E 32F -055872 2.2 Schneider(силовая) 16/32А 2.3 Schneider Merter 2500-051
3. Зажимы контактные, втычные	3.1 IEK ЗВИ-5ЛЭ (4 мм ²) (клемник) 3.2 Клемма 4 × (0,5–2,5 мм) 4-проводная для распределительной коробки (с контактной пастой «Alu-Plus») WAGO 2273-244 3.3 Клемма 4 × (0,5–2,5 мм) 4-проводная для распределительной коробки WAGO 2273-204 3.4 Клеммник 3 × (0,08–4) WAGO 222-413
4. Зажимы винтовые с прижимной планкой от автоматических выключателей на токи 16, 25, 32, 63 А	4.1 Выключатель LEGRAND, Valena, LEG 774401 4.2 Сжим ответвительный У731М У3 (анодированный) 4.3 Сжим ответвительный У734М У3 ПС (оцинкованный) 4.4 Сжим ответвительный У733М У3 (анодированный)
5. Дополнительно ряд контактных соединений, предложенных ОАО «Татэлектромонтаж»	

Таблица 9

Ассортимент кабелей и проводов с ТПЖ из сплавов алюминия

Характеристики	Провод	Кабель
Марки изделий	ПуАсВГ	АсВВГ
		АсВВГнг(А)-LS
	ПуАсВГнг(А)-LS	АсППГнг(А)-HF
		АсВВГнг(А)-LSLTx
Число токопроводящих жил	1	2, 3, 4, 5
Сечение токопроводящих жил, мм ²	2,5–16	2,5–50
Рабочее напряжение, В	450/750	380/660

В соответствии с требованиями ГОСТ 17441–84 критериями устойчивости контактных соединений являлись предельно допустимые значения переходного электрического сопротивления (не более 1,5 исходного значения), предельные значения температуры контактного соединения при протекании номинального тока (не более 95 °С) и при протекании сквозного тока короткого замыкания (не более 200 °С).

Ниже приведена оценка результатов исследований контактных соединений и предложения по использованию серийных типов соединителей для выполнения монтажа электроустановок с использованием кабелей с ТПЖ из сплавов алюминия:

1. Все серийные электроустановочные изделия с типовыми контактными соединениями, которые имеют оцинкованные, луженые и никелированные покрытия контактных поверхностей, характеризуются стабильными параметрами

контактных соединений и могут применяться для электропроводок ТПЖ из сплавов алюминия без дополнительных мер по стабилизации контактных соединений

2. Серийно выпускаемые зажимы контактные втычные типа WAGO для распределительных коробок могут быть использованы при нагрузках до 16 А без применения мер по стабилизации. При более высоких токах нагрузки необходимо применение мер по стабилизации (например, использование ингибиторных смазок).

3. Электроустановочные изделия с анодированными поверхностями контактирующих элементов не применимы для присоединения кабелей с ТПЖ из сплавов алюминия без специальных мер по стабилизации

4. Для типовых медных зажимов при присоединении ТПЖ из сплавов алюминия рекомендуется применение электропроводящей смазки ЭПС-98 для обеспечения термостабильности контактных соединений. Применение этой

Преимущественные области применения кабелей и проводов с ТПЖ из сплавов серии 8000

Марка кабеля или провода	Преимущественные области применения
ПуАсВ	Для одиночной прокладки в кабельных сооружениях зданий и скрытых электропроводах в строительных конструкциях из негорючих материалов
ПуАсВнг(A)-LS	Для групповой прокладки в зданиях и сооружениях во внутренних электроустановках
АсВВГ	Для прокладки одиночных кабельных линий в зданиях и скрытых электропроводах в строительных конструкциях из негорючих материалов
АсВВГнг(A)-LS	Для групповой прокладки кабельных линий в зданиях
АсВВГнг(A)-LSLTx	Для одиночной и групповой прокладки в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1 и Ф3
АсППГнг(A)-HF	Для одиночной и групповой прокладки в зданиях и сооружениях, оснащенных компьютерной и микропроцессорной техникой

смазки гарантирует соответствие контактных соединений требованиям ГОСТ 17441–84 по надежности.

Кроме того, Ассоциацией «Росэлектромонтаж» подготовлены предложения по усовершенствованию контактных соединителей с целью обеспечения стабильности соединений, которые будут полезны изготовителям электроустановочных изделий при поставке продукции на российский рынок.

Основываясь на результатах комплексных испытаний кабелей с ТПЖ из сплавов алюминия и контактных соединителей с электроустановочными изделиями, в ОАО «ВНИИКП» были разработаны технические условия ТУ16.К71-489–2016 на серийное производство кабелей и проводов для электропроводок в зданиях. Ассортимент кабелей и проводов, предназначенных для электропроводок, приведен в табл. 9.

Конструкции кабелей и проводов соответствуют патентам на полезные модели № 176109 [7] и № 176325 [8], условное обозначение марок кабелей и проводов в технических условиях дано в соответствии с маркообразованием базовой нормативной документации и с дополнительным указанием товарного знака предприятия-разработчика, например: ЭЛЕКОНД-АсВВГнг(A)-LS.

Для производства кабелей и проводов с ТПЖ из сплавов алюминия используются полимерные материалы

только российского производства. К их числу относятся поливинилхлоридные композиции пониженной пожарной опасности с низким дымо- и газовыделением производства ОАО «ВХЗ» и ООО «Башпласт», полимерные композиции, не содержащие галогенов – производства ОАО «Техинвест-М». Технические условия на промышленный выпуск кабелей и проводов утверждены Ассоциацией «Электрокабель», согласованы Ассоциацией «Росэлектромонтаж».

Выбор типа кабелей и проводов для выполнения электропроводок в зданиях рекомендуется осуществлять с учётом их преимущественных областей применения, приведённых в табл. 10.

Принимая во внимание более высокую стойкость ТПЖ из сплавов алюминия к двухсторонним перегибам, устойчивость контактных соединений при воздействии эксплуатационных факторов, кабели и провода на их основе могут быть рекомендованы также для замены кабелей и проводов с ТПЖ из электротехнического алюминия во всём диапазоне сечений (более 10 мм²) для повышения качества монтажа кабельных линий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2008. – 701 с.
2. СП 256.1325800.2016. Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. – М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2016.
3. Смелков Г.И. Пожарная безопасность электропроводок. – М.: ООО Кабель, 2009. – 328 с.
4. Christel Hunter. Aluminum Building Wire Installation and Terminations // IAEI News, – 2006. – January-February – P. 79–85.
5. Standard Specification for 8000 Series Aluminum Alloy Wire for Electrical Purposes-Annealed and Intermediate Tempers
6. ГОСТ Р 58019–2017. Катанка из алюминиевых сплавов марок 8176 и 8030. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2018.
7. Кабель силовой // Патент РФ № 176109.
8. Провод электрический // Патент РФ №176325.

