

ЖАРОСТОЙКИЕ КАБЕЛИ И ПРОВОДА С МИНЕРАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

15.1. НОМЕНКЛАТУРА

Жаростойкие кабели в зависимости от назначения изготавливают с медными, из сплавов сопротивления или из термоэлектродных сплавов жилами, размещенными в медной, из нержавеющей стали или из жаростойких сплавов трубе, промежутки между которыми заполнены окисью магния. Сопротивление изоляции кабелей с минеральной (магнезиальной) изоляцией зависит от содержания в ней влаги. В нормальных условиях и при содержании влаги в изоляции не более 0,4% сопротивление изоляции находится в пределах $(900-4550) \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{км}$ и зависит от числа и сечения жил кабеля. Сопротивление изоляции кабеля с магнезиальной изоляцией в среде с относительной влажностью $(95 \pm 3)\%$ при 20°C уменьшается и через 3-4 ч становится стабильным, равным $2 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{км}$. При относительной влажности $(80 \pm 5)\%$ при 20°C сопротивление изоляции, равное $2 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{км}$, устанавливается примерно через 24 ч.

В нормальном состоянии электрическая прочность изоляции кабеля с магнезиальной изоляцией составляет 6 МВ/м, а в изогнутом состоянии - 3 МВ/м. Импульсная прочность магнезиальной изоляции 6—12 МВ/м. Пробивное напряжение при повышении температуры до 250°C изменяется незначительно. Дальнейшее повышение температуры приводит к резкому снижению пробивного напряжения.

Магнезиальная изоляция имеет $\text{tg } \delta = 0,001/0,004$ при 20, 0,01 при 250 и 0,08 при 800°C . При увлажнении изоляции до 1,5-2,0% значение $\text{tg } \delta$ равно 0,04. При плотности магнезиальной изоляции, равной 1900-2000 кг/м^3 , $\epsilon = 3,8/4,5$. При повышении температуры до 250°C и частоты до 400 МГц значение ϵ возрастает незначительно, при влажности 1,5-2,0% — до 5,2.

При помещении открытого конца кабеля с магнезиальной изоляцией в воду влага в течение 6 месяцев проникает не более чем на 200 мм. За 30 ч пребывания его в атмосфере с относительной влажностью $(95 \pm 3)\%$ при 20°C влага проникает на глубину 40—60 мм. Подогрев концов кабеля обеспечивает испарение всей поглощенной влаги. Номенклатура жаростойких кабелей с магнезиальной изоляцией приведена в табл. 15.1, а сортамент этих кабелей — в табл. 15.2.

Таблица 15.1. Номенклатура жаростойких кабелей с минеральной изоляцией

Марка (код ОКП)	Кабель	ТУ
КМЖ (3568110200)	С медными жилами, с магнезиальной изоляцией, в медной оболочке	ТУ 16.505.870-75
КМЖВ (3568110100)	То же, в ПВХ шланге	То же
КНМСН (3568220106)	С никелевыми жилами, в стальной оболочке, нагревостойкий	ТУ 16.505.564-75
КНМСНХ (3568220300)	То же, с нихромовой жилой	То же
КНМСНХ-Н	То же, в оболочке из сплава ХН78Т	” ”
КНМСпН	То же, с никелевой жилой	” ”
КНМСС (3568320100)	То же, с жилами из нержавеющей стали, в стальной оболочке	” ”
КНМС2С (3568320800)	То же, в двух стальных оболочках	” ”
КНМС3С (3568321200)	То же, в трех стальных оболочках	” ”
КНМСпС (3568321000)	То же, в оболочке из сплава ХН78Т	” ”
КНМСп2С (3568321000)	То же, в двух оболочках из сплава ХН78Т	” ”
КНМСп3С (3568321300)	То же, в трех оболочках из сплава ХН78Т	” ”
КТМС (ХК) (3567740100)	То же, с жилами хромель Т-копель	ТУ 16.505.757-75
КТМСп(ХК) (3567740400)	То же, в оболочке из сплава ХН78Т	То же

КТМСМ (ХА) (3567750500)	С термоэлектродными жилами из сплавов хромель Т и алю-мель, с минеральной изоляцией, в стальной оболочке	ТУ 16.705.073-78
КТМСМ (ХК) (3567740500)	То же, с термоэлектродными жилами хромель Т и копель	То же
КТМСпМ(ХА) (3567750600)	То же, с термоэлектродными жилами из сплавов хромель Т и алюмель в оболочке из сплава ХН78Т	” ”
КТМСпМ(ХК) (3567740600)	То же, с термоэлектродными жилами хромель Т и копель	” ”

Таблица 15.2. Сортамент жаростойких кабелей с минеральной изоляцией

Марка	Число жил	S, мм ² , при рабочем напряжении, В			
		до 1	115	500	750
КМЖ, КМЖВ	1	-	-	1,0; 1,5; 2,5; 4,0	6; 10; 16; 25; 50 70; 95; 120
	2	-	-	1,0; 1,5 и 2,5	1,5; 2,5; 4; 6,10 и 16
	3	-	-	1,0; 1,5 и 2,5	1,5; 2,5; 4; 6,0 и 16
	4	-	-	1,0; 1,5 и 2,5	1,5 и 2,5
	5	-	-	1,0; 1,5 и 2,5	1,5 и 2,5
	7	-	-	1,0 и 1,5	1,5 и 2,5
	12	-	-	1,0	1,0
	19	-	-	-	1,0
КНМСН, КНМСНХ, КНМСпС, КНМСС	1	-	0,070	0,283; 0,502; 0,785 и 1,131	-
			0,159		
	2	-	0,025	-	-
			0,050		
КНМСН	2	-	—	0,636	-
	4	-	—	0,708	-
КИМС2С	1	-	0,070	0,196; 0,332	-
	2	-	0,070	0,220	-
	4	-	-	0,166	-
КНМС3С	1	-	-	0,138	-
КТМС (ХА), КТМС(ХК).	2	0,02; 0,06; 0,3; 0,5; 0,6; 0,9	-	-	-
КТМСМ (ХА), КТМСпМ(ХА), КТМСМ (ХК), КТМСпМ(ХК)	4	0,05; 0,009; 0,125 0,44 и 1,13	-	-	-

15.2. СИЛОВЫЕ И КОНТРОЛЬНЫЕ КАБЕЛИ С МАГНЕЗИАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Однопроволочные токопроводящие жилы силовых и контрольных кабелей изготавливают из бескислородной меди. В поперечном сечении кабеля жилы размещают равномерно по окружности внутри

трубы из бескислородной меди, промежутки между ними заполняют прессованной окисью магния (рис. 15.1). На поверхности оболочки отсутствуют грубые следы обработки, выводящие ее толщину за пределы допустимых отклонений. Матовая поверхность и цвета побежалости на оболочке не являются браковочными признаками. В кабелях КМЖВ поверх медной оболочки накладывают герметичный шланг из ПВХ пластиката. Наружный диаметр, масса и максимальная длина кабеля с магниевой изоляцией приведены в табл. 15.3. Допускается сдача маломерных отрезков длиной не менее 10 м в количестве не более 20%.

Кабели КМЖ и КМЖВ должны эксплуатироваться с концевыми заделками для герметизации торцов кабеля и ввода кабелей в электрооборудование через индивидуальные отверстия (конструкции ЗККМЖ. 01) или через сальники (конструкция ЗККМЖ. 02), изображенные на рис. 15.2. Заделки различают по маркоразмерам в зависимости от сечения и количества жил кабеля, напряжения и конструктивного исполнения заделки (табл. 15.4). Торцы кабелей в заделках герметизируют с помощью компаунда ВГО-1, предназначенного для работы при максимальной рабочей температуре 250 °С. Изолирование токопроводящих жил кабелей в заделках осуществляется с помощью трубок марки ТКР из кремнийорганической резины (максимальная температура 180° С), трубок марки К-672 из кремнийорганической резины (максимальная температура 250 °С), трубок из Ф-4 (максимальная температура 250 °С), обмоткой электроизоляционной самосклеивающейся лентой марки ЛЭТСАР (для максимальной температуры 250 °С). Электрическое сопротивление токопроводящих жил кабелей КМЖ и КМЖВ приведено в табл. 15.5. Сопротивление изоляции при нормальных климатических условиях $[(25\pm 10)^\circ\text{C}]$ не менее $10^6 \text{ Ом}\cdot\text{км}$; при 250 °С - не менее $0,001\cdot 10^6 \text{ Ом}\cdot\text{км}$. Кабели на рабочее напряжение 500 В в нормальных условиях $[(25\pm 10)^\circ\text{C}]$ испытывают напряжением 2 кВ в течение 1 мин, а кабели на рабочее напряжение 750 В — напряжением 3 кВ.

Кабели с магниевой изоляцией выдерживают не менее двух двойных изгибов на цилиндр диаметром 20 D и один однократный изгиб на цилиндр 4D. Кабели КМЖ устойчивы к расплющиванию и обладают продольной герметичностью до 20 МПа. Кабели с магниевой изоляцией КМЖ с концевыми заделками пригодны для эксплуатации при температуре от -50 до +250°С, а кабели КМЖВ - от -40 до +70°С, устойчивы к воздействию относительной влажности до 98% при 40 °С и сохраняют герметичность при погружении в воду. Шланг из ПВХ пластиката (кабель КМЖВ) холодостоек, стоек к растрескиванию и не распространяет горение. Срок службы кабелей КМЖ с заделками при температурах окружающей среды от -50 до +100°С не менее 25 лет, а при температурах до 250 °С - не менее 5 лет, кабель КМЖВ при температуре от - 40 до + 70 °С — не менее 12 лет. Ресурс работы заделок при нагреве под нагрузкой до 100 °С — 25000 ч, до 250 °С — 3500 ч, а заделок с изолирующими трубками марки ТКР при температуре до 180 °С - 3500 ч, до 250 °С - 50 ч. Через каждые 25000 ч эксплуатации должны проверяться характеристики кабелей и следует

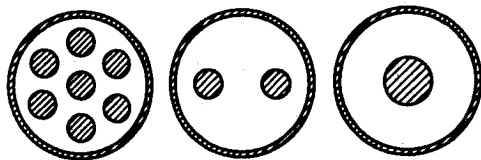


Рисунок 15.1. Схема жаростойких кабелей с магниевой изоляцией

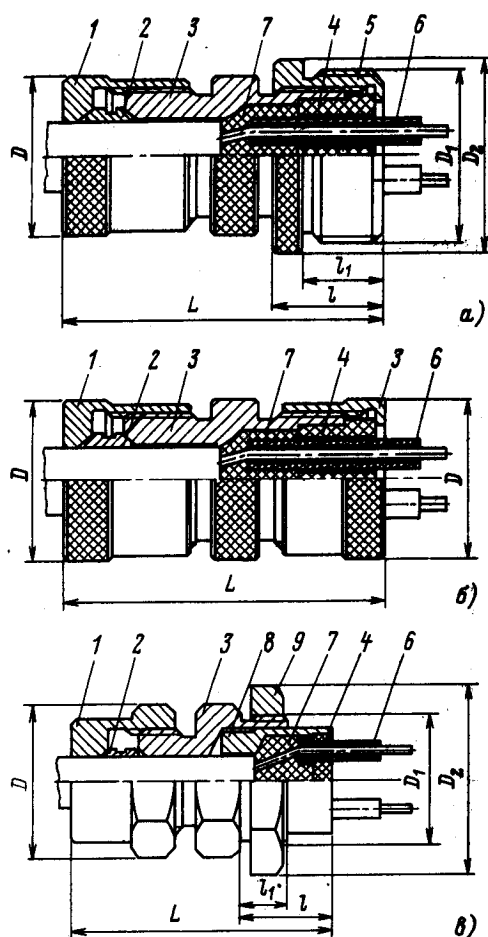


Рисунок 15.2. Конструкция концевых заделок кабелей с магниальной изоляцией: а - ЗККМЖ.01; б - ЗККМФ.02; в - ЗККМЖ.03; 1 - гайка упорная; 2 - кольцо уплотнительное; 3 - корпус; 4 – изолирующий диск; 5 – гайка накидная; 6 – трубки изолирующие; 7 – герметизация из компаунда; 8 – колпачок; 9 – крепежная гайка

Таблица 15.3. Сортамент, размеры, масса строительная длина кабеля с минеральной изоляцией

Число жил мм2	Номинальные размеры, мм					g, кг/км		Строительная длина кабеля, км
	Диаметр жилы, мм	Толщина медной оболочки	Диаметр медной оболочки	Толщина ПВХ шланга	D	КМЖ	КМЖВ	
На напряжение 500 В								
1*1	1,13	0,5	4,5	1,0	6,5	87,2	113	200
1*1,5	1,38	0,5	5,0	1,0	7,0	105	133	200
1*2,5	1,78	0,5	5,5	1,0	7,5	127	158	150
1*4	2,25	0,6	6,0	1,0	8,0	163	196	150
2*1	1,13	0,6	7,5	1,3	9,5	210	250	200
2*1,5	1,38	0,6	8,0	1,3	10,6	237	294	200
2*2,5	1,78	0,7	8,7	1,3	11,3	297	359	150
3*1	1,13	0,6	8,0	1,3	10,6	230	287	150
3*1,5	1,38	0,7	8,7	1,3	11,3	294	356	150
3*2,5	1,78	0,7	9,5	1,3	12,1	353	420	100
4*1	1,13	0,7	8,7	1,3	11,3	291	353	100
4*1,5	1,38	0,7	9,5	1,3	12,1	343	410	100
4*2,5	1,78	0,8	10,5	1,3	13,1	441	514	100
5*1	1Д3	0,7	10,0	1,3	12,6	365	435	100

5*1,5	1,38	0,8	11,0	1,3	13,6	456	532	100
5*2,5	1,78	0,8	12,2	1,3	14,8	563	646	50
7*1	1,13	0,07	10,0	1,3	12,6	377	447	50
7*1,5	1,38	0,8	11,0	1,3	13,6	474	550	50
12*1	1,13	0,9	12,7	1,3	15,3	615	701	25
На напряжение 750 В								
1*6	2,76	0,6	8,0	1,3	10,6	256	313	100
1*10	3,57	0,7	8,7	1,3	11,3	329	391	100
1*16	4,51	0,8	10,0	1,3	12,6	450	520	100
1*25	5,64	0,8	11,0	1,3	13,6	565	641	50
1*35	6,68	0,8	12,2	1,3	14,8	705	788	50
1*50	8,00	0,8	13,0	1,3	15,6	855	943	50
1*70	9,44	1,0	15,5	1,5	18,5	1218	1339	25
1*95	11,0	1,0	17,2	1,5	20,2	1552	1685	25
1*120	12,36	1,2	19,5	1,5	22,5	1966	2115	25
2*1,5	1,38	0,8	10,0	1,3	12,6	369	439	100
2*2,5	1,78	0,8	11,0	1,3	13,6	439	515	100
2*4	2,25	0,8	12,2	1,3	14,8	534	617	50
2*6	2,76	0,9	13,2	1,3	15,8	649	738	50
2*10	3,57	1,0	15,0	1,3	17,6	862	962	25
2*16	4,51	1,1	17,2	1,5	20,2	1155	1288	25
3*1,5	1,38	0,8	10,5	1,3	13,1	407	480	100
3*2,5	1,78	0,8	11,7	1,3	14,3	499	579	100
3*4	2,25	0,9	12,7	1,3	15,3	615	701	50
3*6	2,76	0,9	14,0	1,3	16,6	747	841	50
3*10	3,57	1,0	16,0	1,5	19,0	1008-	1132	25
3*16	4,51	1,1	18,2	1,5	21,2	1350	1490	25
4*1,5	1,38	0,8	11,7	1,3	14,3	490	570	50
4*2,5	1,78	0,9	12,7	1,3	15,3	603	689	50
5*1,5	1,38	0,9	14,0	1,3	16,6	681	775	25
5*2,5	1,78	1,0	15,0	1,3	17,6	815	915	25
7*1,5	1,38	0,9	14,0	1,3	16,6	700	794	25
7*2,5	1,78	1,0	15,0	1,3	17,6	846	946	25
12*1	1,13	1,0	16,5	1,5	19,5	938	1066	25
19*1	1,13	1,2	19,5	1,5	22,5	1331	1480	25

Таблица 15.4. Размеры, мм, концевых заделок кабелей с минеральной изоляцией типа КМЖ

Число жил *S, мм2	Диаметр кабеля, мм	ЗККМЖ. 01							L не более	ЗККМЖ. 02 ЗККМЖ. 03						L не более
		D	D1	D2	I	II	D	L не более		D	D1	D2	I не более	II		
500 В																
1*1,0	4,5	114	M16*1	20	13	11	35	114	35	-	-	-	-	-	-	
1*1,5	5,0	13,5	M16*1	20	13	11	35	13,5	35	-	-	-	-	-	-	
1*2,5	5,5	13,5	M16*1	20	13	11	35	13,5	35	-	-	-	-	-	-	
1*4,0	0,6	13,5	M16*1	20	13	11	35	13,5	35	-	-	-	-	-	-	
2*1,0	7,5	13,5	M16*1	20	13	И	35	13,5	35	-	-	-	-	-	-	
2*1,5	8,0	15,5	M20*1,5	25	15	12	43	15,5	43	22	M20*1,5	34,6	14	9,4	46	

2*2,5	8,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	46
3*1,0	8,0	15,5	M20*1,5	25	15	12	43	15,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	46
3*1,5	8,7	15,5	M20*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	46
3*2,5	9,5	19,5	M20*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	46
4*1,0	8,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	46
4*1,5	9,5	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
4*2,5	10,5	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
5*1,0	10,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
5*1,5	11,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
5*2,5	12,2	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
7*1,0	10,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
7*1,5	11,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	53
12*1,0	12,7	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	30	M27*2,0	47,3	30		9,5	63
750 В																
1*6	8,0	15,5	M20*1,5	25	15	12	43	15,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	44
1*10	8,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	44
1*16	10,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	44
1*25	11,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	56
1*35	12,2	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	56
1*50	13,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	56
1*70	15,5	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	60
1*95	17,2	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	30	M33*2,0	63,5	32		11,0	60
1*120	19,5	31,5	M33*1,5	38	19	15	59	31,5	59	41	M24*2,0	75,0	32		13,0	67
2*1,5	10,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,4	56
2*2,5	11,0	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	56
2*4,0	12,2	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,5	56
2*6,0	13,2	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	56
2*10	15,0	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	36
2*16	17,2	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	30	M33*2,0	63,5	32		11	67
3*1,5	10,5	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M20*1,5	34,6	14		9,5	44
3*2,5	11,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	22	M27*2,0	47,3	22		9,4	56
3*4,0	12,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,3	22		9,5	56
3*6,0	14,0	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	58
3*10	16,0	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,3	22		9,4	58
3*16	18,2	31,5	M33*1,5	38	19	15	59	31,5	59	30	M33*2,0	63,5	32		11	67
4*1,5	11,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,5	22		9,4	56
4*2,5	12,7	19,5	M22*1,5	25	15	12	43	19,5	43	27	M27*2,0	47,5	22		9,4	56
5*1,5	14,0	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,5	22		9,4	58
7*1,5	14,0	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,5	22		9,4	58
7*2,5	15,0	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	27	M27*2,0	47,5	22		9,4	58
12*1,0	16,4	24,5	M27*1,5	32	18	15	54	24,5	54	30	M33*2,0	63,5	32		11,0	67
19*1,0	19,5	35,5	M36*1,0	40	19	15	59	35,5	59	41	M42*2,0	75	32		13,0	67

Таблица 15.5. Электрическое сопротивление на длине 1 км, Ом, медных токопроводящих жил кабелей КМЖ КМЖВ при 20°C

S, мм ²	Номинальное	Максимальное	S, мм ²	Номинальное	Максимальное
-----------------------	-------------	--------------	--------------------	-------------	--------------

1	17,2	18,3	25	0,690	0,731
1,5	11,5	12,2	35	0,493	0,522
2,5	6,9	7,3	50	0,350	0,390
4	4,3	4,6	70	0,246	0,261
6	2,87	3,05	95	0,181	0,192
10	1,72	1,83	120	0,144	0,162
16	1,078	1,142	-	-	-

принимать решение о возможности дальнейшей их эксплуатации.

Кабель поставляют в бухтах внутренним диаметром не менее 600 мм, перевязанными не менее чем в трех местах и обернутыми упаковочным материалом. Масса бухты кабеля не превышает 120 кг. Концы кабеля залиты герметизирующим компаундом марки К-115 или другим равноценным материалом. В комплекте с кабелем поставляют концевую арматуру в количествах соответственно заявке потребителя (в каждый комплект входят корпус концевой заделки ЗККМЖ.01.03, упорное кольцо ЗККМЖ.01.02, упорная гайка ЗККМЖ.01.01, накладная гайка ЗККМЖ.01.05 и изолирующий диск ЗККМЖ.01.04).

Монтаж кабеля и концевых заделок должен производиться при температуре не ниже -10°C и относительной влажности воздуха не более 65%. Радиус изгиба кабеля при монтаже должен быть не менее $6D$. На всех стадиях монтажа концевых заделок необходимо проверять сопротивление изоляции кабеля, которое не должно быть ниже $10^6 \cdot \text{Ом} \cdot \text{км}$. В процессе монтажа концевых заделок недопустимо оставлять незагерметизированные торцы кабелей более чем на 2 мин. При эксплуатации кабелей должны быть приняты меры с учетом возможности механического повреждения концевых заделок, попадания на них влаги, нефтепродуктов, кислот и других агрессивных сред.

Предельно допустимая электрическая нагрузка одиночно прокладываемых кабелей КМЖ (нагрев жил до 85°C при температуре окружающей среды 40°C) приведена в табл. 15.6 и 15.7. Допустимая токовая нагрузка кабелей, проложенных открыто, зависит от температуры окружающей среды, что учитывается применением коэффициента k_1 :

$t, ^{\circ}\text{C}$	25	30	40	50	60
k_1	1,06	1,0	0,85	0,68	0,46
для КМЖ					
k_1	1,16	1,0	0,94	0,75	0,51
для КМЖВ					

Допустимая токовая нагрузка кабелей, проложенных пучком, устанавливается с учетом коэффициента k_2 :

Число кабелей	2	3	4	5	6
k_2	0,8	0,69	0,63	0,59	0,56
Число кабелей	8	10	12	14	
k_2	0,51	0,48	0,44	0,42	

Допустимая токовая нагрузка кабелей, проложенных закрытым способом (нагрев 60°C) с различной заделкой, должна устанавливаться с учетом приведенных коэффициентов:

$t, ^{\circ}\text{C}$	25	30	40	50	60	70
ЗККМЖ.03	1,04	1,0	0,96	0,92	0,84	0,80
ЗККМЖ.01, ЗККМЖ.02	1,12	1,09	1,06	1,02	0,98	0,94
$t, ^{\circ}\text{C}$	80	90	100	120	130	140
ЗККМЖ.03	0,61	0,46	-	-	-	-

Таблица 15.6. Максимальные токовые нагрузки одножильных кабелей КМЖ

S, мм ²	Ток, А	
	Постоянное и переменное напряжение частоты 50 Гц	Переменное напряжение частоты 400 Гц
1	22	22
1,5	28	28
2,5	37	37
4	49	49
6	62	62
10	84	80
16	111	100
25	146	129
35	177	150
50	226	174
70	277	198
95	333	212
120	377	232

Таблица 15.7. Максимальная токовая нагрузка двух-, трех-, четырех и семижильных кабелей марки КМЖ

S, мм ²	Ток, А			
	Двухжильный	Трехжильный	Четырехжильный	Семижильный
1	19	15	13	11
1,5	24	20	18	15
2,5	32	25	22	18
4	43	33	-	-
6	53	42	-	-
10	73	57	-	-
16	98	76	-	-

15.3. НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ КАБЕЛИ

Токопроводящие жилы нагревательных кабелей изготавливают однопроволочными из нержавеющей стали (марки 12Х18Н9Т или 12Х18Н80Т), нихрома (марки Х20Н80 или Х20Н80Н) или никеля (марки НП2, НП3 или НП4). Одну, две или четыре жилы размещают в одной, двух или трех оболочках из нержавеющей стали (марки 08Х18Н10Т или 12Х18Н10Т) или из сплава ХН78Т и промежутки между ними заполняют периклазом (марки ПЭ-1М или ПЭ-ВМ). Внешняя оболочка имеет светлую поверхность. Следы обработки, риски, вмятины не превышают ±0,05 мм. Матовая поверхность и цвета побежалости не являются браковочными признаками. Конструктивные размеры нагревательных кабелей в одной оболочке приведены в табл. 15.8, а кабелей в двух и трех оболочках — в табл. 15.9.

Кабели **КНМСС, КНМСпС, КНМСпСп, КНМСН, КНМСпН, КНМСНХ, КНМСНХ-Н** в нормальных климатических условиях выдерживают переменное напряжение частоты 50 Гц в течение 1 мин между жилой и оболочкой диаметром 6,0; 5,0; 4,0; 3,0 мм — 1 кВ, диаметром 2,0 и 1,5 мм — 600 В и диаметром 1,3 и 0,9 мм - 200 В; кабели **КНМС2С, КНМСп2С, КНМС3С и КНМСп3С** между жилой и внутренней оболочкой и между соседними оболочками - 1 кВ; двух- и четырехжильные кабели **КНМС2С и КНМСп2С** между жилами и внутренней оболочкой - 800 В и между оболочками — 1 кВ; одножильные кабели при температуре 600 °С выдерживают 800 В, двух- и четырехжильные между жилами — 600 В, между оболочками — 800 В

Электрическое сопротивление жил кабелей КНМСС, КНМСН и КНМСНХ (из нержавеющей стали, никеля и нихрома) приведено в табл. 15.10, а жил и оболочек из нержавеющей стали кабелей КНМС2С и КНМС3С-в табл. 15.11. Сопротивление изоляции между жилой и оболочкой, между жилой и соединенными вместе остальными жилами и оболочкой и между соседними оболочками в нормальных климатических условиях не менее $100000 \cdot 10^6$, а при 600°C -не менее $0,1 \cdot 10^6$ Ом*м. Емкость между жилой и первой (внутренней) оболочкой одножильных кабелей КНМС2С в нормальных климатических условиях не более 300 пФ/м.

Нагревательные кабели выдерживают не менее двух циклов изгибов на цилиндре диаметром 10D. Кабели КНМСС, КНМСН и КНМСНХ диаметром до 1,5 мм выдерживают навивание на цилиндр диаметром

Таблица 15.8. Размеры, мм, и масса нагревательных кабелей в одной оболочке

Марка	n*S	d	Толщина оболочки	D	g, кг/км
КНМСС,	1* 0,025	0,18	0,15	0,9	3,7
КНМСпСП,	2* 0,025	0,18	0,15	0,9 $\pm 0,04$	3,8
КНМСпС	2* 0,050	0,26 $\pm 0,05$	0,22	1,3	8,0
КНМСС, КНМСпС	1* 0,070	0,30	0,25	1,5	10,0
	1* 0,159	0,45	0,20	2,0 $\pm 0,05$	16,0
	1* 0,283	0,60	0,35 $\pm 0,07$	3,0	37,0
	1* 0,502	0,80 $\pm 0,12$	0,55-0,05	4,0	70,0
	1* 0,785	1,00 $\pm 0,15$	0,65	5,0	106,0
	1* 1,131	1,20 $\pm 0,18$	0,75	6,0	158,0
КНМСН	1* 0,070	0,30	0,25	1,5	10,5
	1* 0,159	0,45 $\pm 0,05$	0,20	2,0	16,0
	1* 0,283	0,60	0,35	3,0	37,0
	1* 0,502	0,80 $\pm 0,12$	0,55 + 0,07	4,0 $\pm 0,05$	70,0
	1* 0,785	1,00 $\pm 0,15$	0,65 - 0,05	5,0	107
	1* 1,131	1,20 $\pm 0,18$	0,75	6,0	159
КНМСН	4* 0,708	0,95	0,60	6,0	158,0
	2* 0,636	0,90 $\pm 0,14$	0,62	5,0	107,0
КНМСНХ	1* 0,070	0,30	0,25	1,5	10,0
	1* 0,159	0,45 $\pm 0,05$	0,20	2,0	16,0
	1* 0,283	0,60	0,35 + 0,07	3,0 $\pm 0,05$	37,0
	1* 0,502	0,80 $\pm 0,12$	0,55 - 0,05	4,0	70,0

	1*0,785	1,00 ± 0,15	0,65	5,0	107,0
	1*1,131	1,20 ± 0,18	0,75	6,0	159,0

Таблица 15.9. Размеры, мм, масса нагревательных кабелей в двух и трех оболочках

Марка	n * S	d, мм	Толщина первой оболочки	Диаметр первой оболочки	Толщина второй оболочки	Диаметр второй оболочки	Толщина наружной оболочки	D	g, кг/км
КНМС2С	1* 0,332	0,65	0,24	2,58	-	-	0,57	5,0	96,9
	1* 0,196	0,50	ОД8	2,32	-	-	0,28	4,0	65,4
	1* 0,070	0,30 ± 0,05	0,16 ± 0,07	1,80 ± 0,05	-	-	0,45 + 0,07	3,0 ± 0,05	42,5
	2* 0,188	0,42	0,17 - 0,05	2,30	-	-	0,24 - 0,05	4,0	66,0
	2* 0,220	0,53	0,22	2,80	-	-	0,45	5,0	101,0
	4* 0,166	0,46	0,25	3,82	-	-	0,85	5,0	97,9
КНМС3С	1* 0,138	0,40	0,19	1,80	0,28±0,07	3,28 ± 0,05	0,85	5,0	101,0
-0,05									

Таблица 15.10. Электрическое сопротивление жил нагревательных кабелей на длине 1 км, Ом

D, мм	S, мм ²	КНМСС (сталь)	КНМСН (никель)	КНМСНХ (нихром)
1,5	0,070	13,5	1,50	21,0
2,0	0,159	6,2	0,70	9,2
3,0	0,283	3,0	0,50	4,5
4,0	0,502	1,0	0,30	2,5
5,0	0,785	0,9	0,20	1,5
6,0	1,131	0,7	0,15	1,0
6,0	0,708	-	0,20	-
5,0	0,636	-	0,25	-

2 мм, а диаметром до 2 мм — диаметром 6 мм. Кабели устойчивы к воздействию на них температур от - 60 до +600°С, относительной влажности 100% при 40°С. Срок службы кабелей 12 лет (наработка не менее 15000 ч). Кабели поставляют в бухтах внутренним диаметром 400—600 мм. Концы кабеля герметично заделывают компаундом К-115 (МРТУ 6.05.1251-69).

Одножильные нагревательные кабели КНМСС, КНМСН и КНМСНХ диаметром 3, 4, 5 и 6 мм, КНМС2С и КНМС3С предназначены для работы при постоянном напряжении 500 В или переменном напряжении частотой до 1000 Гц, двух- и четырехжильный кабель КНМС2С - при напряжении 250 В и одножильные кабели КНМСС, КНМСН и КНМСНХ диаметром 1,5 и 2,0 мм - при напряжении 115 В.

Кабели со стальной жилой предназначены для работы при воздействии потоков тепловых нейтронов $1 \cdot 10^{14}$ 1/см² и при мощности дозы гамма-потока $1 \cdot 10^9$ /ч. Концы кабелей во время эксплуатации должны быть герметично заделаны. Крепление кабелей при монтаже должно производиться с помощью крепежных деталей и исключать нарушение герметичности оболочки. При монтаже кабеля может производиться одновременный изгиб по радиусу, который должен быть не менее 5 D, а кабелей диаметром 1,5 и 2,0 мм — по радиусу не менее 3D.

15.4. ТЕРМОПАРНЫЕ КАБЕЛИ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ ПЕРИКЛАЗА

Термопарные кабели изготавливают с однопроволочными жилами из термоэлектродных сплавов хромель Т, алюмель и копель. В двухжильном кабеле одна жила изготавливается из сплава хромель Т, другая из сплава алюмель или копель, в четырехжильном кабеле — две жилы из сплава хромель Т и две другие жилы — из сплава алюмель или из сплава копель. Расположение жил в кабеле изображено на рис. 15.3. Термоэлектродные

жила располагают параллельно в стальной трубе (08X18H10T или 12X18H10T), промежутки между ними заполняются периклазом ПЭ-1М или ПЭ-ВМ

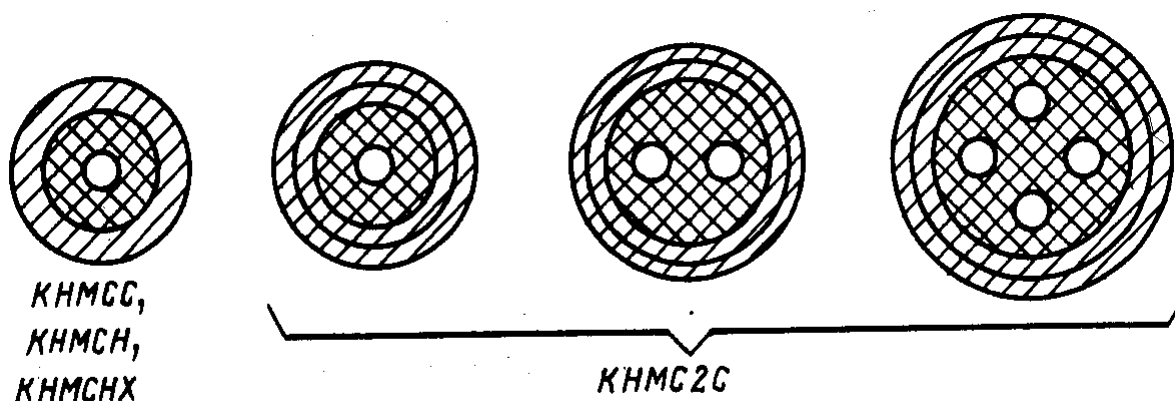


Рисунок 15.3. Термопарные кабели с изоляцией из периклаза

Таблица 15.11. Электрическое сопротивление жил и оболочек нагревательных кабелей на длине 1 км, Ом

Марка	d, мм	S, мм ²	Жила	Внутренняя оболочка	Наружная оболочка
КНМС2С	3,0	0,070	13,5	2,0	-
	4,0	0,196	5,0	0,9	-
	5,0	0,332	3,0	0,7	-
	5,0	0,220	4,3	0,68	-
	5,0	0,166	5,8	0,82	-
КНМС3С	5,0	0,138	7,0	0,68	1,3

(кристаллическим оксидом магния). Оболочка из нержавеющей стали герметична, поверхность ее светлая, без грубых следов обработки (рисок, вмятин) в пределах допусков. Матовая поверхность и цвета побежалости не являются браковочными признаками. Конструктивные размеры кабелей и предельные их отклонения приведены в табл. 15.12. Фактическая масса кабелей не превышает расчетное значение более чем на 10%. Длина кабелей не менее 5 м.

Термопарные кабели диаметром 1,0 и 1,5 мм (жила 2* 0,2 и 2*0,6 мм²) испытывают переменным напряжением 100 В в течение 1 мин, диаметром 3,0 мм (жила 2*0,3 мм²) - напряжением 250 В, кабели диаметром 4; 5; 6; 4,6 и 7,2 мм (жила 2* 0,5; 2*0,6; 2*0,9; 4*0,44 и 4*1,13 мм²) - напряжением 500 В. Электрическое сопротивление пары термоэлектродных жил постоянному току при 20 °С (справочные данные) приведено в табл. 15.13. Термо-ЭДС (табл. 15.14) в термоэлектродных жилах из сплавов в паре хромель Т — алюмель и хромель Т — копель и четырехжильных кабелей с термоэлектродными жилами из сплавов хромель Т алюмель соответствует требованиям ГОСТ 3044-84 с допускаемым отклонением ±0,16 мВ до 800 °С. Сопротивление изоляции между отдельными жилами и между соединенными жилами и оболочкой в нормальных климатических условиях (по ГОСТ 16962-71) не менее 10⁶ при 600°С -не менее 0,1*10⁶ и при 800 °С -не менее 0,01*10⁶ Ом * км.

Кабели выдерживают один цикл изгибов на угол 180° вокруг цилиндра диаметром 5D. Кабели КТМС(ХК) предназначены для работы при температуре до 600 °С, кабели КТМС(ХА) - до 800 °С, а до 900 °С в течение 1 ч (термо-ЭДС при этих температурах не проверяют и не гарантируют) в условиях относительной влажности воздуха 98% при 35 °С. Срок службы кабелей 8 лет (наработка 10000 ч).

Кабели поставляют в бухтах внутренним диаметром 300—800 мм. Концы кабеля герметично заделывают компаундом К-115. Монтаж кабелей допускается производить при температуре не ниже -20 °С. Жилы изолируют периклазом, а затем заключают в герметичную оболочку из коррозионно-стойкой стали 08X18M10T или 12X18H10T. Кабели испытывают переменным напряжением 250 В частоты 50 Гц в течение 1 мин.

Сопротивление изоляции между каждой жилой и остальными жилами, соединенными вместе, и жилы с оболочкой в состоянии поставки не менее $1000 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, кабелей КТМСМ(ХК) и КТМСпП(ХК) при температуре 600 °С не менее $0,1 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; кабелей КТМСМ(ХА) и КТМСпМ(ХА) при температуре 800 °С не менее $0,1 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, кабелей КТМСпМ(ХА) при температуре 1000 °С $-0,0001 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Кабель выдерживает один цикл изгибов на угол 180° вокруг цилиндра диаметром 5 D. Нарботка кабелей КТМСМ(ХК) и КТМСМ(ХА) при 600 и 800 °С не менее 10000 ч, кабелей КТМСпМ(ХК) при 600 °С и КТМСпМ(ХА) при 800 °С - не менее 15 000 ч, кабелей КТМСпМ(ХА) при температуре 1000 °С - не менее 100 ч. Срок сохраняемости кабелей 8 лет.

Кабели устойчивы при воздействии вибрационных нагрузок при 10-5000 Гц с ускорением до 392 м/с^2 ; многократных ударов с ускорением 1470 м/с^2 , одиночных ударов с ускорением 9810 м/с^2 ; линейных нагрузок с ускорением до 4905 м/с^2 ; акустических шумов в диапазоне частот 50— 10000 Гц при уровне звукового давления до 170 дБ. Кабели устойчивы к длительному воздействию температуры до 1000 °С и до 1200 °С — в течение 10 мин, а также температур до -190 °С, выдерживают давление от $1,33 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$ до 48,4 МПа. Нарботка кабелей в режимах и условиях при температуре 1000 °С не менее 10 ч и при температуре 1200 °С не менее 10 мин. Срок сохраняемости кабелей не менее 15 лет.

Кабели КТМСМ(ХК) и КТМСпМ(ХК) предназначены для работы при температурах до 600, кабели КТМСМ(ХА) - до 800 и кабели КТМСпМ(ХА) - до 1000 °С. Они изготавливаются четырех- и шестижильными (по одной жиле хромеля и алюмеля или копеля) и жилы, состоящей из двух отрезков из хромеля Т и алюмеля, сваренных встык [место сварки является рабочим спаем терможилы и расположено на расстоянии (1000 ± 100) или (1500 ± 100) мм от начала кабеля].

Таблица 15.12. Данные термопарных кабелей

n*S	d, мм	Толщина оболочки, мм	D, мм	g, кг/км	l, м
КТМС(ХА); КТМС(ХК)					
2*0,02	0,15 ± 0,05	0,15	1,0 ± 0,05	5	100
2*0,06	0,27 ± 0,05	0,25	1,5 ± 0,05	11	100
2*0,3	0,65± 0,05	0,35	3,0 ± 0,05	39	100
2*0,5	0,85 ± 0,10	0,52	4,0 ± 0,05	74	50
2*0,6	0,90 ± 0,10	0,62	5,0 ± 0,05	110	30
2*0,9	1,08 ± 0,10	0,75	6,0 ± 0,05	163	20
4*0,44	0,75 ± 0,075	0,35	4,6± 0,05	83	25
4*1,13	1,20 ± 0,10	0,50	7,2 ± 0,05	205	10
2*0,025	0,18 ± 0,05	0,14 ± 0,05	0,9 ± 0,04	4,2	100
2*0,03	0,20 ± 0,05	0,15 ± 0,05	1,0 ± 0,04	5,0	100
2*0,05	0,26 ± 0,05	0,22 ± 0,05	1,3 ± 0,04	8,6	100
КТМСМ(ХА); КТМСпМ(ХА)					
2*0,125	0,40 ± 0,05	0,35	3,0 ± 0,05	39,9	25
2*0,502	0,80 ± 0,10	0,75	6,0 ± 0,05	165,0	25
КТМСМ(ХК); КТМСпМ(ХК)					
2*0,125	0,40 ± 0,05	0,35	3,0 ± 0,05	89,9	25

2*0,502	0,80 ± 0,10	0,75	6,0 ± 0,5	165,0	25
---------	----------------	------	--------------	-------	----

Таблица 15.13. Электрическое сопротивление пар термоэлектродных жил термопарных кабелей на длине 1 км, Ом (справочные данные)

D, мм	n * S, мм ²	Хромель Т, алюминель	Хромель Т, копель
0,5	2*0,009	106,3	121,1
0,7	2*0,02	50,5	57,4
0,9	2*0,025	39,6	45,2
1,0	2*0,03	32,1	36,5
1,3	2*0,04	24,3	27,7
1,5	2*0,06	16,0	16,5
3,0	2*0,3	3,5	3,8
4,0	2*0,5	1,8	2,1
5,0	2*0,6	1,7	2,0
6,0	2*0,9	1,2	1,4
4,6	4*0,44	2,3	2,6
7,2	4*1,13	1,0	1,3

Таблица 15.14. Термо-ЭДС термоэлектродных жил хромель-алюмелевых и хромель-копелевых термопар, мВ

Температура рабочего конца, °С	ХА	ХК
100	3,94- 4,26	6,68- 7,08
200	7,97- 8,29	14,39- 14,79
300	12,05- 12,37	22,68- 23,08
400	16,22- 16,58	31,23- 31,75
500	20,45- 20,85	39,96- 40,60
600	24,69- 25,13	48,73- 49,49
700	28,91- 29,39	57,41- 58,29
800	33,06- 22,58	65,97- 66,97
900	37,09- 37,65	-
1000	41,02- 41,62	-
1100	44,84- 45,48	-
1200	48,53- 49,21	-