

# **ИНСТРУКЦИЯ**

**по транспортировке**

**укладке**

**испытаниям и**

**техническому обслуживанию**

## **5.2 Транспортировка и укладка кабеля**

- 5.2.1 Введение
- 5.2.2 Кабельные барабаны
- 5.2.3 Монтаж кабельной системы
- 5.2.4 Важные рекомендации
- 5.2.5 Аксиальные и радиальные нагрузки
- 5.2.6 Минимальный радиус изгиба
- 5.2.7 Минимальная температура при укладке
- 5.2.8 Вычисление силы натяжения
- 5.2.9 Установка принадлежностей
- 5.2.10 Инструменты для укладки кабеля и монтажа
- 5.2.11 Обслуживание

## Техническая информация

### Транспортировка и укладка кабеля

#### 1. Введение

Надежность обслуживания кабельных систем зависит непосредственно не только от качества кабеля, но также и в большой степени от используемых методов и тщательности выполнения работ при укладке кабеля и монтажа принадлежностей. В течение изготовления, которое выполняется с предельной тщательностью, каждая кабельная длина полностью проверена после проводимого технологического процесса, и, прежде чем осуществить отправку заказчику, подвергнута серьезному тестированию. Очень важно предпринять правильные действия, транспортируя и укладывая кабель. Каждая фаза операции укладки должна контролироваться непосредственно шэф - инженером, особенно если используется труд

рабочих со средней квалификацией. Все рабочие должны полностью осознавать возможность серьезных последствиях в случае чрезмерного изгиба или деформации кабеля. Фактом является то, что убытки в течение транспортировки и укладки кабеля вызваны недостаточной подготовкой работ или их неправильным проведением. Если это возможно, то методы укладки должны быть указаны в перспективном проектировании для того, чтобы это могло быть учтено при проведении работ гражданского строительства. Тем самым будет гарантировано правильность укладки кабеля, а так же позволит избежать дополнительных работ и связанных с ними затрат.

#### 2. Кабельные барабаны

Кабели обычно поставляются на кабельных барабанах. Размеры барабанов продиктованы длиной кабеля и его диаметром. Диаметр средней части барабана должен быть, по крайней мере, следующих размеров, где d - внешний диаметр кабеля:

Минимальный диаметр средней части кабельного барабана		
<b>Одножильный кабель</b>		
Кабель для низкого напряжения	20	d
Кабель для среднего напряжения	25	d
Высоковольтный кабель	25	d
<b>Многожильный кабель</b>		
Полимерная изоляция	20	d
Бумажная изоляция	25	d

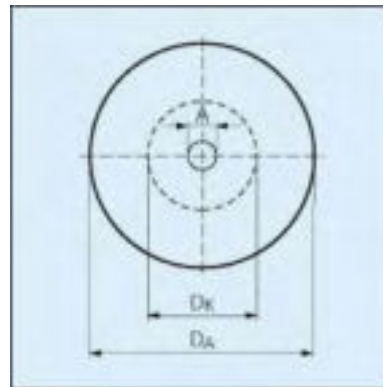


Малое прицепное устройство для укладки кабеля



Большое прицепное устройство для укладки кабеля

**Габариты и  
веса  
кабельных  
барабанов**



Тип	Размеры Da	B мм Dk	C	E	B	A	Вес пустого барабана кг	Вместимость кабеля кг
AE	600	250	400	440	460	30	22	150
BVE	1050	550	600	680	695	90	90	650
BE	1300	700	700	780	790	90	120	2000
CCE	1600	800	800	080	890	90	165	3500
CE	1650	965	610	730	750	90	170	2500
CEs	1650	965	800	920	950	90	195	2500
DE	1900	1160	1160	1150	1175	90	295	4000
DEs	1900	1400	140	1150	1175	90	290	4000
FE	2200	1400	1400	1150	1175	90	380	6400
GE	2400	1500	8000	1200	1165	90	510	8000
HE	2600	1680	1000	1150	1175	90	560	10000
HEB	2600	1680	1225	1375	10	90	650	10000
KE	3000	2000	1225	1365	5900	105	900	12000
OHE	3000	2000	1360	1525	105970	105	970	12000
OHEs	3150	2000	1360	1525	1360	105	15000	15000
OHEsp	3150	1500	1360	1525	1360	105	910	15000
SGE	3700	2000	1300	1450	1200	105	1200	19000
WE25	3800	263800	1400	1570	1600	145	160	15000
WE26	3800	263800	1400	1570	1600	145	1800	20000
WE28	3800	3800	1300	1550	1550	145	2475	10000

**Обработка кабельных барабанов**

Кабельные барабаны должны транспортироваться вертикально, так, чтобы вес был распределен на обоих фланцах; они не могут быть положены на бок. В течение транспортировки кабельные барабаны должны быть должным образом закреплены. Никогда не допускайте того, чтобы кабельные барабаны падали с грузовиков или трейлеров,

поскольку и барабан, и кабель могут быть повреждены.

Используйте только подходящее оборудование для того, чтобы производить операции подъема, предпочтительно грузовик, оснащенный подъемным краном или трейлер со средствами обеспечения загрузки - разгрузки. Рампа также может использоваться для

разгрузки. Барабаны можно катить на короткие расстояния, если соблюдать правила Руководства по перемещению, то есть, внешние кабельные концы обращены назад по ходу движения. Барабаны могут вращаться передней частью в противоположном направлении помощи штанги и подъемного устройства.

**Вместимость кабельных барабанов (в метрах)**

Данные, относящиеся к минимальному диаметру той части барабана, на которую производится намотка кабеля, находятся в разделе 5.2, страница 1/15

Кабель Ø mm	AE	BVE	BE	CCE	CE	CEs	DE	DEs	FE	GE	HE	HEB	KE	OHE	OHEs	OHEs p	SGE	WE25	WE26	WE28
8	796	3977	7707																	
10	497	2650	4961	9840	6680	8761														
12	334	1720	3425	6595	4483	5918		6179												
14	254	1255	2504	4882	3363	4458	7203	4587												
15	202	1100	2173	4139	2793	3701	6054	3931	7891											
16	199	928	1904	3747	2510	3303	5417	3376	7100	8807										
17		891	1691	3366	2176	2922	4808	3180	6340	7512	8679									
18		756	1449	2796	1920	2560	4306	2730	5361	6814	7891									
19		720	1259	2518	132	2273	3826	2597	4785	6142	7132									
20		619	1240	2435	1642	2190	3440	2233	4646	5610	6534									
21		585	1061	2169	1466	8327	3005	51061	4991	4991	5832	7197	8819							
22		492	895	1916	1250	1667	2905	1782	3668	4503	5282	6456	8432							
23		479	876	1677	1216	1590	2562	1711	3256	4037	4756	5862	7709	8582						
24		394	856	1648	1061	1061	2238	1303	3130	3882	4253	5291	7013	7701						
25		382	732	1470	1028	1371	5281	1385	28	3534	4182	5123	6346	6993	8482					8956
26		370	686	1394	885	1154	1898	1322	2697	4584	3706	4584	5707	6314	7741					8082
27		357	575	1228	853	1125	1862	1292	2404	3056	3349	4073	5501	6112	7500					7797
28		284	580	1199	801	1095	1775	1034	2290	2664	3189	3918	4903	5473	6796					6979
29		272	562	1044	727	935	1248	1008	2019	2786	2856	95278	4819	5278	6124	8469			8474	6707
30		275	543	1015	698	907	1513	2842	13982	25747	29	3381	4257	279	6032	7952		8429	8167	6089
31		263	443	871	668	879	94727	956	879	2258	14795	3016	47795	4603	5394	775	82975	8297	7515	5831
32		200	426	879	583	7967	1269	759	126975	2201	2412	2956	3749	4144	5303	6785	8348	7479	6726	5253
33		202	429	851	555	741	1235	2357	1630	1931	27	2895	3670	4067	4820	6692	7774	6866	6603	5143
34		192	3492	823	528	715	1202	715	2555	1878	268	2555	3268	3631	4731	6214	7638	6739	6008	4595
35		193	343	693	8361	688	1013	692	1357	1933	1998	2497	35193	6416	4161	5603	7083	6152	5890	4491
36	183	328	699	428	588	982	670	1316	117	117	2439	3117	3392	4074	5506	6545	5875	5622	4386	
37		312	672	430	565	988	672	1322	9886	1738	215	2744	2994	3647	5066	6412	5326	5074	3878	
38		314	582	433	568	956	69	1113	4335	26732	2070	2673	2924	3564	4969	5896	5208	4959	3781	
39		299	558	408	844	787	088	1075	1484	1625	48145	2602	2853	3481	4478	50884	5088	4441	3682	
40		301	562	4710	547	791	490	1080	1314	1633	1960	2529	2866	3178	4586	5271	4710	4459	3582	
42		228	542	321	435	735	423	1003	1221	1338	1687	2204	2432	3020	4082	4675	4481	3861	3034	
44		216	438	301	216	710	9365	826	1024	1291	1584	2299	2299	2575	3601	4256	3889	3655	2951	
46		219	419	304	397	568	418	795	95	1080	1338	16034	1979	2511	3259	4160	3451	3220	2544	
48		399	227	302	545	191	7563	947	1037	1296	1919	1925	2181	2929	3756	3362	3134	2467		
50		331	229	305	550	29512	640	813	1045	1254	1447	1628	2120	29512	3369	2951	2726	2091		
52			314	21	288	423	278	613	778	854	1033	1396	1578	1814	2547	2999	2466	2548	2020	
54				163	207	4264	264	42	618	814	995	1150	16307	1757	2248	2909	2387	2181	1677	
56				149	209	384	251	448	588	1476	798	1104	32562	1476	2183	2562	2403	2194	1614	
58				150	195	387	161	451	592	649	802	7161	1216	0424	1904	2474	2050	1848	1551	
60				151	196	281	152	427	560	615	769	1064	1170	1841	1531	2153	1976	1780	1487	
62				137	182	283	153	429	454	618	734	849	938	1124	1776	2068	1902	1711	1195	
64				138	184	266	144	405	428	4311	596	853	943	1130	1599	2087	1589	1642	1200	
66						268	144	313	431	473	569	812	903	1082	1538	1789	1598	1414	1144	
68						251	135	294	404	444	571	817	907	1089	1369	1804	1530	1352	1148	
70						253	135	295	406	446	542	775	866	1040	131723	1723	1538	1359	1092	
72						236	126	275	379	416	544	630	667	825	1255	1538	1255	1296	893	
74						169	126	1294	381	418	515	595	670	829	1266	1463	1194	1234	846	
76						170	126	278	294	420	517	598	635	787	1049	1474	1200	1036	849	
78						117	258	273	300	375	563	638	790	1138	1222	1138	983	801		
80						117	259	274	301	376	565	640	794	1067	1230	1143	986	804		
82						117	186	275	302	353	529	605	751	1012	1161	958	990	756		
84						108	171	253	278	354	532	608	608	873	1168	905	936	758		
86							171	254	279	356	412	441	572	824	1013	909	939	592		
88							172	256	280	331	384	443	574	830	951	856	716	554		
90							173	257	281	333	384	444	577	836	957	859	718	555		
92								157	234	257	334	386	416	540	786	962	862	720	557	
94									167	258	335	388	418	543	664	899	808	675	518	
96									168	185	222	359	419	545	668	904	655	677	520	
98									169	186	223	360	390	508	624	767	657	679	521	
100									169	186	223	361	392	392	628	771	659	681	522	
104										168	206	333	394	394	719	616	637	484		
108										169	207	240	262	366	727	573	457	353		
112										152	190	220	264	369	554	576	459	325		
116												221	243	340	559	446	462	326		
120												222	244	342	512	411	425	297		

### 3. Монтаж кабельной системы

Кабельные трассы должны быть запланированы настолько прямо, насколько это возможно, избегая крутых изгибов в пределах трассы. Месторасположение люков для протяжки и соединения должно быть заранее предусмотрено в тех местах, которые доступны для транспорта с оборудованием и материалами. Если используются системы с транспозицией экрана, то отдельные кабельные секции между соединением должны быть приблизительно равными по длине. В определенных заранее местах устанавливаются кабельные барабаны и машина для протяжки кабеля. Отверстия в стенах должны иметь отверстия не только для кабеля, но так же и для протягивающей веревки.

#### **Открытая траншея**

В выкопанных траншеях, а так же на соседних с ней участках, не должно быть таких мест, которые могли бы обрушиться до или во время проведения работ по укладке кабеля. Стены траншеи в случае необходимости должны быть обшиты досками. Выкопанное траншейное дно должно быть свободным от выступающих камней, в противном случае оно должно быть засыпано слоем песка толщиной, по крайней мере, 10 см. Это существенно, в случае если должны быть положены небронированные кабели. Другой слой песка (приблизительно 20 см) или теплоизолирующий материал должен быть уложен поверх кабелей.

#### **Термопластиковые трубы**

В Швейцарии, кабели, в основном, укладываются в трубопроводах. Из-за маленького коэффициента трения между кабелем и трубопроводом даже длинные кабельные участки могут быть проложены без контрольных

колодцев. В дополнение ко всему, система трубопровода может быть установлена в секциях заранее в любое удобное время, одновременно с другими работами

#### **Материалы**

Трубы и приспособления могут быть изготовлены из следующих термопластиковых материалов::

- Полиэтилен (PE)
- Полипропилен (PP)
- Поливинилхлорид (PVC)

#### **Диаметр труб**

При повышении рабочих температур кабели удлиняются. Это удлинение должно быть в пределах трубопровода и следовательно якорные хомуты должны быть установлены в ямах для соединительных муфт. Внутренние диаметры трубопроводов должны иметь следующие значения:

- от 1.4 до 2.0 диаметров кабеля для 1 кабеля в трубе
- от 2.6 до 3.5 диаметров кабеля для 3 кабелей в трубе

#### **Соединения труб**

Укладка и сборка системы трубопроводов должны быть выполнены тщательно. Трубы, как правило, поставляются длиной по 10 м и 5 м, и соединение достигается при помощи герметичного соединения. Серьезное внимание нужно обратить на относительно высокий коэффициент линейного расширения термопластических материалов, особенно при установке трубопроводов в течение тех дней, при которых могут быть температуры с большой разницей значений.



Ниша для соединения кабеля внутри трубопровода

Следующие увеличения длин труб приведены для десятиметрового трубопровода при разнице температур 10°C:

- Полиэтилен - прим. 20 мм
- Полипропилен - прим. 15 мм
- Поливинилхлорид - прим. 8 мм

Трубы должны быть надежно зафиксированы после их соединения для того, чтобы избежать рассоединения стыков в то время, когда на них будет оказываться давление почвы. Бетон или почва не должны проникать в систему трубопровода. Прежде, чем преступить к протяжке кабеля, необходимо пропустить нейлоновую веревку в трубопровод при помощи сжатого воздуха.

#### Трубы в грунте

Для этого случая должны

использоваться трубы из полиэтилена. Трубопроводы обычно укладываются на слой песка. Другой слой песка помещен сверху, чтобы покрыть трубопроводы полностью. Этот материал уплотняется вручную. Расстояние между параллельными трубопроводами должно быть по крайней мере 5 см. В изгибах с малыми радиусами или в местах пересечения дорог, а так же там, где ожидается значительная сила натяжения, желательно устанавливать трубопроводы с бетонной заливкой.

#### Трубы в бетонных блоках

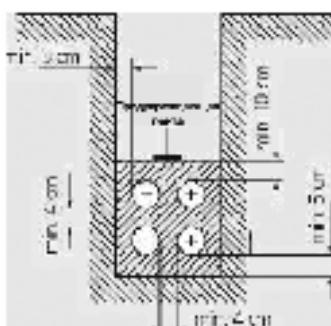
Для этого случая могут использоваться трубы из полиэтилена, полипропилена или поливинилхлорида. Трубопроводы, сделанные из твердого поливинилхлорида или полиэтилена являются

подходящими только для укладки в бетон. Этот метод является особенно подходящим тогда, когда должно быть положено множество параллельных трубопроводов. Сначала, основание траншеи покрывается бетонной плитой, на которой положен первый слой трубопроводов. Затем этот слой покрывается бетоном, после чего может быть положен второй слой трубопроводов, и т.д. Во время заливки бетона трубопроводы должны быть закреплены на месте укладки распорными деталями. Слой бетона поверх трубопроводов должен быть минимум 10 см, сбоку - минимум 5 см и между трубопроводами – 4 см. Применяемые сорта бетона: PC150 или PC 200.

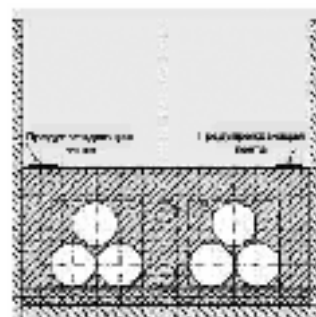
#### Расположение труб в бетонных блоках



а) одиночный слой



б) двойной слой



с) схема укладки с двумя «треугольниками»

#### Изменение направления укладки кабеля

Трубопроводы допускают изгибы, предварительно сформированные на участках труб или гибких угловых частей. Трубопроводы могут также быть изогнуты на месте укладки. Нижеприведенные радиусы могут быть применены при температуре 20°C без предварительного нагрева (холодный изгиб):

Минимальный радиус изгиба для труб из полиэтилена (PE), полипропилена (PP) и поливинилхлорида (PVC) при температуре 20°C

Диаметр трубы в мм:	80/92	100/112	120/132	150/163	200/214
Мин. радиус, м (PE)	2.0	3.0	4.5	7.5	18.0
Мин. радиус, м (PP)		5.5	9.0	13.5	
Мин. радиус, м (PVC)	3.5	6.0	10.0	15.0	20.0

#### Системы трубопровода с различными уровнями укладки

Трубопроводы, находящиеся в местах со склонами (подъемами) должны быть оборудованы бетонными барьерами, которые предотвратят вымывание тонкодисперсных песков и илистого грунта из-под трубопровода.

### Калибровка

После завершения монтажных работ система трубопровода должна быть откалибрована и оснащена пластиковой веревкой. Калибр имеет указанный диаметр, гарантирующий, что максимальная деформация трубопровода не превышает 10 %.

Размеры калибров

Диаметр трубы, мм	80/92	100/112	120/132	150/163	200/214
Диаметр калибра, мм	72	90	108	133	175
Длина калибра, мм	160	200	240	300	400

Дальнейшие пункты инструкции относятся к брошюре "Руководящие принципы для монтажа кабельных трубопроводов, сделанных от термопластического материала" выпущенной Ассоциацией швейцарских систем электроснабжения (VSE).

### Цементный трубопровод

Старые кабельные линии часто включают секции трубопроводов, сделанных из цемента. Обычно, участки кабельных линий с изгибами укладывались непосредственно в грунт. В случае необходимости извлечь кабель, а так же протягивания нового, надо иметь ввиду высокий коэффициент трения между кабелем и грунтом.

### Кабельные лотки

Кабельные лотки часто используются в доступных кабельных туннелях или в пределах зданий. Они выполняются путем горячей глубокой гальванизации или ламинированием. Один из факторов, которые будут рассмотрены – относительное удлинение кабелей в течение эксплуатации. Кабели с одиночным проводником должны быть собраны в соответствующую схему с заранее рассчитанными силами короткого замыкания.

### Система «Briport»

Системе «Briport» лучше всего подходит для горизонтальных и наклонных кабельных участков в доступных кабельных туннелях или галереях. Расстояние между креплениями кабеля зависит от его веса и максимально возможных сил короткого замыкания. Система «Briport» позволяет легкое и экономичное протягивание кабеля. Кабель легко протягивается через кабельные направляющие и поэтому он правильно размещен с самого начала работ. Кабельные направляющие могут быть всегда открытыми. Это позволяет легко

осуществлять монтаж дополнительных кабелей даже спустя длительное время после первоначального монтажа. Вес кабеля и нагревания проводника делает возможным естественную усадку кабеля, которая уберет его провисание в течение циклов нагрузки.

### Система «Streiff»

Эта система используется для очень тяжелых кабелей в горизонтальных или наклонных кабельных туннелях. Провисание кабелей должно быть заранее установлено механически, что



Система «Briport»

увеличивает время монтажа.



#### **Воздушный кабель**

Провисание воздушных кабелей, как правило, регулируется до 5 % от длины трассы. Расстояние между местами крепления кабеля должны быть запланированы в соответствии с профилем трассы, чтобы выдерживать необходимую высоту конструкции над уровнем земли. Воздушные кабели должны быть оборудованы растяжками, которые будут нести как вес кабеля, так и любую дополнительную нагрузку, такую как снег, лед или ветер. На опорах, находящихся у поворота трассы должны быть хомуты для окончательного регулирования ее наклона.

#### **Подводный кабель**

Профиль трассы и состояния грунта должны быть исследованы на ранней стадии проектирования, чтобы определить условия укладки кабеля. В зависимости от глубины и скорости потоков может быть выбран один из следующих способов размещения кабеля:

- на морское дно
- уложенный в морское дно
- в трубопроводах

Перед укладкой кабеля запланированная трасса должна быть отмечена бакенами. Для операции прокладки кабеля в озерах и реках требуется специальное оборудование.

#### **4. Важные рекомендации**

##### **Четыре основные правила укладки кабеля:**

1. Не превышайте допустимую силу натяжения
2. Не превышайте допустимое боковое давление
3. Не укладывайте кабель с радиусом изгиба меньше допустимого
4. Не укладывайте кабель при температуре ниже допустимой

##### **Кабельные барабаны**

Кабель всегда раскручивается от вершины барабана. Барабаны должны быть установлены на кабельном трейлере или на домкратах таким способом, что бы иметь возможность установки размыкающих устройств. Если ожидается большая сила натяжения кабеля, то протягивающее устройство может быть размещено около барабана.

##### **Изгибы в не засыпанных траншеях**

Расположение и установка кабельных роликов на кривых участках трассы требуют большого внимания. Ни в коем случае не меняйте положение роликов под нагрузкой или во время разъединения. Чтобы успешно вести кабель, нужно установить как горизонтальные, так и вертикальные ролики. Число вертикальных роликов будет зависеть от максимальной силы бокового давления.

##### **Кабельная лебедка**

Чтобы гарантировать надежную операцию разматывания стального троса или веревки, лебедка должна быть надежно установлена и закреплена на расстоянии приблизительно 10 м от траншеи или отверстия кабельного трубопровода. Трос (веревка) для вытягивания должны быть присоединены к кабелю посредством вращающейся «головы», позволяющей им совершать свободные вращения. Сила натяжения должна быть заранее проверена и постоянно отслеживаться. В случае необходимости оператор лебедки должен быть в состоянии остановить процесс в любое время.



Кабельная лебедка с электронным управлением

**Кабельные «собачки»**

Поддерживающие ролики и ролики для протягивания могут быть установлены с целью уменьшить силу натяжения в лебедке. Кабельные «собачки» должны всегда размещаться перед изгибами, и в первой секции трассы перед местом нанесения смазки.



Большая машина для протягивания кабеля.



Ролики с электроприводом для протягивания кабеля



Ролики с моторным приводом для протягивания кабеля

**Связь**

Надежная связь между персоналом при кабельном барабане, промежуточных входных отверстиях, в начале кабеля и лебедке необходима для координации работ и выполнения их надлежащим образом. Обычно используются проводные телефонные аппараты или радиотелефоны. Используемое оборудование должно иметь высокую надежность и быть полностью проверено перед операцией укладки кабеля.

**Направление укладки**

Направление укладки должно быть выбрано таким образом, чтобы получить наименьшую силу натяжения в конце кабельной трассы. Это будет иметь место в том случае, если кабельные барабаны будут расположены в том месте, Гидравлический домкрат



Гидравлический домкрат



Машина для протяжки троса (веревки)

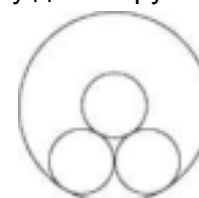
где находятся наиболее существенные изменения в направлении трассы. Для трасс с наклонным рельефом, протяжка кабеля, если это возможно, должна осуществляться от верха к низу.

**Различие в высотах трассы**

В местах, где существуют значительные различия в высотах рельефа, кабель должен быть зафиксирован при помощи анкерных зажимов. Фиксация при помощи анкерных зажимов необходима так же на концах кабеля и с обеих сторон соединения.

**Протяжка трех одножильных кабелей**

Всякий раз, когда три одножильных кабеля необходимо протянуть в одном и том же трубопроводе, то эти кабели нужно тянуть одновременно. Конфигурация одножильных кабелей внутри трубопровода определяется функцией  $k$  - отношением внутреннего диаметра трубопровода к внешнему диаметру кабеля



$k = 2.6 \dots 2.9$

размещение треугольником



$k > 3$

конфигурация виде лотка

Если  $k$  находится в диапазоне от 2.9 до 3.1 есть вероятность, что кабели могут забиться в трубопроводе в течение протягивания. Если  $k > 3$  и необходима укладка в виде треугольника, то кабели должны быть связаны.

**5. Аксиальные и радиальные нагрузки**  
**Допустимая сила натяжения**

Максимальная допустимая сила натяжения - результат поперечной выделенной области А кабельных элементов, находящихся под давлением и соответствующего напряжения

$\sigma_{ad}$ :

$$F_{ad} = A \cdot \sigma_{ad} \text{ [N]}$$

Так как поперечная выделенная область А приблизительно пропорциональна диаметру кабеля, может использоваться следующее эмпирическое правило:

$$F_{ad} = K_{ad} \cdot D_E \text{ [N]}$$

$K_{ad}$  константа для элемента под давлением

$D_E$  внешний диаметр кабеля, мм

**Бронированные кабели**

(Тип РРВ-ТФ, Х/ГКТ-Ф, и т.д.) Для этих типов предполагается, что полная сила натяжения будет воспринята броней. Круглые или плоские стальные провода, используемые для бронирования имеют прочность на разрыв приблизительно 350 Н/мм<sup>2</sup>. Принимая во внимание тот факт, что провода находятся вокруг кабеля, а так же вторичные влияния, такие как вращения кабеля, максимальное допустимое значение напряжения  $\sigma_{ad}$  может быть принято равным 70 - 100 Н/мм<sup>2</sup>. Поскольку точное число проводов, находящихся под нагрузкой не всегда известно, то пользуются упрощенными выражениями, приведенными ниже:

кабель с одиночной броней:  $K_{ad} = 300$   
кабель с двойной броней:  $K_{ad} = 400$

**Кабели без бронирования**

(Тип РРВ-Т, ХКДТ, ГКТ-УТ, и т.д.)

Небронированные кабели протягиваются за проводник.

Проводники прикреплены к веревке протягивания посредством проушин или зажимов, обжатых на проводнике, а так же вворачиваемых зажимов.

Одножильные кабели с медными проводниками	$\sigma_{ad} = 60 \text{ Н/мм}^2$
Одножильные кабели с алюминиевыми проводниками	$\sigma_{ad} = 30 \text{ Н/мм}^2$
Многожильные кабели с медными проводниками	$\sigma_{ad} = 40 \text{ Н/мм}^2$
Многожильные кабели с алюминиевыми проводниками	$\sigma_{ad} = 20 \text{ Н/мм}^2$

Допустимые значения натяжения проводников

Значения для многожильных кабелей ниже чем для одножильных кабелей, потому что нагрузки при натяжении не разделены равномерно по всем проводникам.

Протягивание за свинцовую оболочку: В этом случае может быть применена упрощенная формула:

$$F_{ad} = K_{ad} \cdot D_E \text{ [N]}$$

$$K_{ad} = 50$$

**Радиальная нагрузка**

При натяжении кабелей вокруг изгибов, возникает радиальная сила, величина которой зависит от силы натяжения, радиуса и угла изгиба.

При условии, что

$$F_A = F_E = F, \text{ мы можем записать:}$$

$$Z = 2F \times \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$b = 2\pi \times \frac{\alpha}{360^\circ}$$

таким образом,  $Z_B$  = радиальная сила на единицу длины

$$Z_B = \frac{F \times \sin \frac{\alpha}{2}}{r \times \pi \times \frac{\alpha}{360^\circ}}$$

В диапазоне от 0° до 90° может быть применено следующее упрощение:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pi \times \frac{\alpha}{360^\circ}$$

$$Z_B \cong \frac{F}{r} \text{ [H / м]}$$

Ошибка, присущая этой формуле составляет менее, чем 10% при  $\alpha \leq 90^\circ$ .

Максимально допустимые радиальные нагрузки в трубопроводах:	
Небронированный кабель	$Z_{B\ ad} = 10000\ \text{Н/м}$
Кабель с одиночным бронированием	$Z_{B\ ad} = 15000\ \text{Н/м}$
Кабель с двойным бронированием	$Z_{B\ ad} = 18000\ \text{Н/м}$
Максимальные допустимые нагрузки на ролик соответствующего изгиба:	
Небронированный кабель	$Z_{r\ ad} = 1500\ \text{Н/м}$
Кабель с одиночным бронированием	$Z_{r\ ad} = 2500\ \text{Н/м}$
Кабель с двойным бронированием	$Z_{r\ ad} = 3000\ \text{Н/м}$
При использовании блоков роликов – 5 роликов на метр:	
Небронированный кабель	$Z_{B\ ad} = 7500\ \text{Н/м}$
Кабель с одиночным бронированием	$Z_{B\ ad} = 12500\ \text{Н/м}$
Кабель с двойным бронированием	$Z_{B\ ad} = 15000\ \text{Н/м}$
При использовании блоков роликов – 3 роликов на метр:	
Небронированный кабель	$Z_{B\ ad} = 4500\ \text{Н/м}$
Кабель с одиночным бронированием	$Z_{B\ ad} = 7500\ \text{Н/м}$
Кабель с двойным бронированием	$Z_{B\ ad} = 9000\ \text{Н/м}$

### 7. Минимальная температура при укладке

Укладка кабеля может быть выполнена при температуре окружающей среды до  $-5^{\circ}\text{C}$ , при условии, что выполнены все необходимы для этого меры. Если по какой-нибудь причине кабели должны быть уложены при более низких температурах, кабельные барабаны должны быть нагреты заранее, а кабели необходимо быстро уложить, прежде, чем они остынут ниже минимально допустимой температуры.

### 6. Минимальный радиус изгиба

Для протягивания кабеля и кабельной заделки (окончательное положение кабеля) есть различные допустимые значения минимального радиуса изгиба. В течение процесса протягивания кабеля длинные его участки могут быть изогнуты несколько раз и подвергнуты радиальным силам, тогда как кабель в заделке, благодаря специальным приспособлениям изогнут единожды и без радиальной силы.

Коэффициенты для минимально допустимого радиуса изгиба::

Тип кабеля	Мин. радиус изгиба = = Коэффициент x Диаметр кабеля Протягивание кабеля		Заделка кабеля	
	Многожильный	Одножильный	Многожильный	Одножильный
<b>Низкое напряжение</b>				
Бумажная изоляция:				
- PPB	12	15	10	12
Полимерная изоляция:				
- T, X	10	12	8	10
- G	10	12	6	8
<b>Среднее напряжение</b>	Многожильный	Одножильный	Многожильный	Одножильный
Бумажная изоляция:				
- PPB, PFEW	15	20	12	16
Полимерная изоляция:				
- X	12	15	10	12
- G	12	15	8	9
<b>Высокое напряжение</b>	Многожильный	Одножильный	Многожильный	Одножильный
Бумажная изоляция:				
- PPB, POPB, POSUW-T	20	20	16	16
Полимерная изоляция:				
- X	20	20	16	16
- G	20	20	12	12

### 8. Вычисление силы натяжения

#### **Вычисление силы натяжения для прямого участка трассы без разницы высот**

Сила натяжения  $F$  в конце кабельной трассы вычисляется как:

$$F = G \times l \times \mu \quad [H]$$

где:

$F$  сила натяжения [H]

$G$  вес кабеля [H/м]

$l$  длина кабеля [м]

$\mu$  коэффициент трения

#### **Вычисление силы натяжения для прямого участка трассы с разницей высот**

Сила натяжения  $F$  увеличивается, при протягивании с подъемом, и уменьшается, при протягивании со спуском, вычисляется как:

$$F = G \times l \times (\mu \times \cos \beta \pm \sin \beta)$$

где:

$\beta$  угол наклона [°]

+ протягивании с подъемом

- протягивании со спуском

Для углов наклона  $\beta = 0^\circ - 20^\circ$  (36%) может быть применена следующая упрощенная формула:

$$F = G \times l \times \mu \pm G \times h$$

где

$h$  разница уровней рельефа [м]

#### **Вычисление силы натяжения для участков с изгибами**

Из-за изменений в направлении сила натяжения  $F$  увеличивается множителем  $f$ , который зависит от коэффициента трения  $\mu$  и угла изгиба  $\alpha$ :

$$F_E = F_A \times f = F_A \times e^{\mu\alpha}$$

где:

$F_E$  сила на выходе из изгиба

$F_A$  сила на входе в изгиб

$\alpha$  угол изгиба

$\mu$  коэффициент трения

**Коэффициенты трения**

Коэффициент трения  $\mu$  зависит от двух материалов, находящихся в соприкосновении и используемой смазке. Смазка

всегда используется, при протягивании кабелей ( $l \geq 50$  м) с внешней термопластической изоляцией в термопластические трубопроводы, поскольку

местное нагревание от трения, особенно в изгибах, может привести к застреванию кабеля между стен трубопровода.

	Кабель с внешней термопластической изоляцией	Бронированный кабель
Протягивание по роликам	0.20 - 0.30	0.15 - 0.25
Протягивание в цементных трубах	0.40 - 0.60	0.40 - 0.50
Протягивание в термопластических трубах:		
- консистентная смазка	0.10 - 0.20	0.10 - 0.20
- водяная смазка	0.15 - 0.25	0.15 - 0.25
- консистентная / водяная смазка	0.10 - 0.15	0.10 - 0.15

**Пример расчета**

3 одножильных кабеля уложены в полиэтиленовую трубу  $\varnothing 120$  мм



Тип кабеля: ХКДТ 1x240/35 мм<sup>2</sup>, 20/12 кВ  
 Вес метра кабеля  $G = 3.36$  кг  
 Диаметр кабеля  $D_A = 41$  мм  
 Мин. радиус изгиба =  $15 \times D_A = 15 \times 41 = 615$  мм

Длина трассы  $L = 500$  м  
 Разница высот профиля  $h = 0$  м  
 Температура окр. среды  $\sigma = +5^\circ\text{C}$   
 Смазка консистентная

Процедура вычисления: 3 кабеля  $3 \times 3.36 \times 9.81 = 100$  Н

Секция	Длина(м)	$F_E + \mu \times G \times l$ (Н)	Сила протягивания $F_E$ на выходе из изгиба (Н)	$F$ (Н)
0 ... 1	$L_1 = 90$	$0 + 0,15 \times 100 \times 90 = 1350$	$1350 \times 1,13 = 1525$	
0 ... 2	$L_2 = 110$	$1525 + 0,15 \times 100 \times 110 = 3175$	$3175 \times 1,17 = 3715$	
0 ... 3	$L_3 = 300$	$3715 + 0,15 \times 100 \times 300 = 8215$	нет изгиба	<b>8215</b>

**Критерии проверки:**

1. Допустимая сила натяжения	2. Допустимое давление боковой стенки
$F_{AD} = 3 \times 240 \text{ мм}^2 \times 40 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 28800 \text{ Н}$	$Z_{Bad} = \frac{F_E}{r} = \frac{3715 \text{ Н}}{2 \text{ м}} = 1858 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
$8215 \text{ Н} < 28800 \text{ Н}$	$1858 \frac{\text{Н}}{\text{м}} < 10000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
3. Минимальный радиус изгиба $2 \text{ м} > 15 \times 41 = 615 \text{ мм}$	4. Минимальная температура при укладке $+ 5^\circ\text{C} > - 5^\circ\text{C}$

Все 4 критерия отвечают требованиям без ограничений.

Вариант с превышением высот в секции 2 ... 3 :  $h = + 20 \text{ м}$

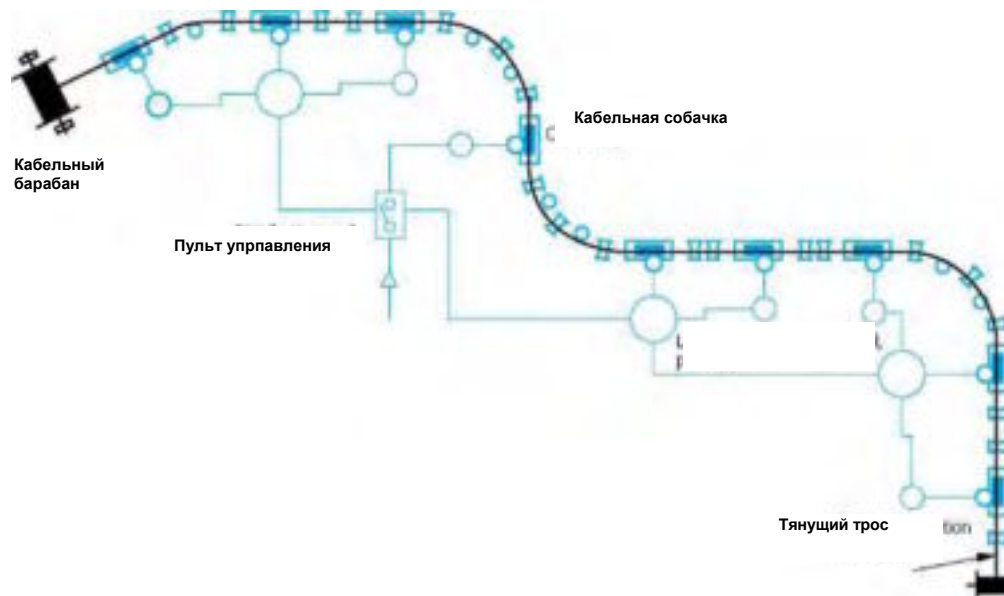
Дополнительная тянущая сила:  $G \times h = 100 \text{ Н} \times 20 = 2000 \text{ Н}$

$$F = 8215 + 2000 = 10215 \text{ Н}$$

4 критерия остались в заданных пределах.

**Пример протягивания кабеля при помощи кабельных «собачек»**

Укладка в открытой траншее, кабельный тоннель, кабельный лоток, Vriport



### **9. Установка принадлежностей**

Бережная и правильная установка принадлежностей - очень важный фактор для надежности всей кабельной системы в течение длительного срока службы. Поскольку большинство операций должно быть выполнено на месте проведения работ, высокий требуется уровень навыков технического персонала. Со применением готовых комплектовующих частей и использованием современных устройств для монтажа были улучшены качественный уровень работ и ее надежность.

#### **Хранение**

Ящики с принадлежностями, прибывшими на место проведения работ, должны храниться до их использования в помещении.

#### **Подготовка**

Предельное внимание необходимо уделить безопасности и чистоте на месте проведения работ. В местах установки принадлежностей, кабели должны быть прямыми и находится, как минимум, выше окончательного положения на 0,5 -1,0 м.

#### **Сооружение подмостков**

Подмостки для установки наружных концевых терминалов должны быть защищены от непогоды и пыли. Необходимо наличие рабочей платформы на 80 см ниже опорной плиты. Крыша должна быть съемной для того, чтобы облегчить установку подъемным краном тела изолятора.

#### **Соединительные каналы**

Газы, более тяжелые чем воздух могут собраться в люках и соединительных каналах. Меры безопасности должны

строго выполняться. Грунт и вода должны быть удалены. Защита от дождя и пыли может быть достигнута установкой палаток. В окружающих средах с жесткими условиями необходимо применение герметичного контейнера, оборудованного системой кондиционирования воздуха.

#### **Установка**

Все принадлежности устанавливаются согласно рисункам и соответствующим инструкциям по монтажу, которые содержат детали относительно пошаговых действий, проверок качества и требуемых специальных инструментов. Отдел монтажа Brugg Kabel AG избавляет Вас от большого парка оборудования, с которым большинство действий по подготовке кабелей с полимерной изоляцией могут быть выполнены механически. Специальные инструменты включают в себя:

- устройство для зачистки внешнего полупроводникового слоя и термопластической изоляции
- режущее устройств для металлической изоляции
- устройство для зачистки изолирующего экрана
- нагреватели, сдвижные устройства и т.д.

Использование этих инструментов не только делает подготовку эффективной, но и сводит использование наждачной бумаги к минимуму.

#### **Терминалы**

В зависимости от размера, необходимо большое усилие для установки готового стресс-конуса. Оно может быть значительно уменьшено при помощи специальных подталкивающих устройств и смазки, специально разработанной для этой цели. Заключительная установка терминалов, для

непосредственного соединения с газовой изоляцией распределительного устройства или с трансформатором требуют хорошей координации действий всех заинтересованных сторон.

#### **Соединения при помощи лент**

Ленто-обмоточные машины осуществляют намотку полупроводниковых и изолирующих лент. Использование такой ленто-обмоточной машины гарантирует, что механическая напряженность ленты будет точно такой, как было задано и останется постоянной по всей окружности.

#### **Соединения, собранные заранее**

Устройство с воздушной компенсацией нагрузок используется для установки и окончательной фиксации изолирующего тела в его рабочем положении. Эта концепция была разработана компанией Brugg Kabel AG для того, чтобы минимизировать механические усилия в течение работ по установке изолирующего тела.



**10. Инструменты для укладки кабеля и монтажа**



Протягивающая проушина



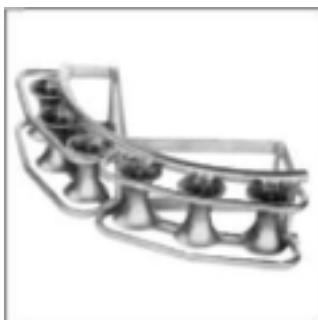
Компенсирующий шарнир



Протягивающий захват с проушиной



Направляющие ролики



Блок роликов для поворота на 90°



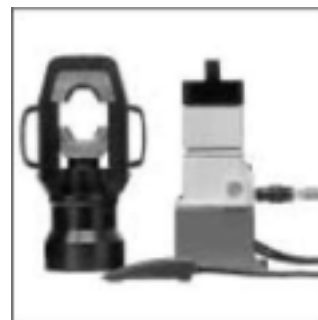
Ролик на стальной раме



Осевой ролик



Набор опрессовочных инструментов



60-тонный пресс



Ленто-обмоточная машина



Устройство для зачистки изоляции



Съемники



Устройство для установки муфт

## **11. Техническое обслуживание**

### *Высоковольтные кабели*

Рабочее давление кабельных систем с бумажной изоляцией должно проверяться и регистрироваться регулярно. Кабельные системы, использующие полимерную изоляцию являются практически не обслуживаемыми, однако, во время периодических осмотров, проводимых обслуживающим персоналом, желательное проверить терминалы на отсутствие следов компаунда. Уровень компаунда в терминалах должен быть проверен после 5 лет.

### **Замечания по эксплуатации**

Кабельные системы операционно очень безопасны при условии – работы по укладке кабеля и монтажу терминалов выполнены тщательно, а так же установлена эффективная защита от перенапряжений. Почти все выходы из строя кабельных систем происходят из-за внешних повреждений, нанесенных землеройными машинами. Другие причины, которые приводят к нарушению изоляции, очень редки.

### *Низковольтные кабели*

Вообще, кабельная полимерная изоляция обеспечивает безотказное функционирование систем. Возможная причина выхода из строя – проникновение воды во время монтажа.

### *Кабели среднего напряжения*

Неисправности в принадлежностях кабелей среднего напряжения вызваны, главным образом, перенапряжением. Поэтому существенно важно защитить кабельную систему необходимыми ограничителями перенапряжений, которые должны быть установлены как можно ближе к терминалам. Остаточные перенапряжения хорошо защищенной сети легко

выдерживаются терминалами так долго, пока изоляторы не загрязнены. Сегодня кабельные системы с бумажной изоляцией свинцовой оболочки (PILC), очень надежны и почти не обслуживаемые. Два фактора внесли свой вклад в это: использование не вытекающих составов для заполнения кабельной изоляции и заполняющих составов для терминалов, которые отвердевают при охлаждении. В настоящее время, принадлежности для PILC - кабелей также дают возможность использовать термоусадочные материалы, которые «работают» при высоких и низких температурах. Кабели с полимерной изоляцией совместимые с заранее собранными принадлежностями так же считаются не обслуживаемыми.

### **Ремонт**

Ремонтные работы требуют определенных мер безопасности. Вход влаги в систему должен быть строго исключен. После обнаружения повреждения, это место должно быть немедленно загерметизировано. Ленты или термоусадочные трубы должны быть помещены непосредственно на изоляцию вместо броневой защиты, тем самым гарантируя герметичность. Размер земляных работ для ремонта должен быть достаточно большим для облегчения ремонтных работ при данных условиях. Перед началом любого ремонта необходимо убедиться, что влага не попала в кабельную систему. Для кабелей с бумажной изоляцией это легко выполнить, помещая куски бумаги в горячее масло

или горячий компаунд при температуре приблизительно 120°C. Если влага присутствует, желтоватая пена появится на поверхности бумаги. В этом случае отрежьте все влажные секции кабеля.

### **Служба работы с заказчиками**

В дополнении к тому, что компания Brugg Kabel AG изготавливает кабель и принадлежности к нему, предоставляемые услуги включают в себя:

- обширная инженерная поддержка и помощь в выборе кабеля, определение поперечного сечения и т.д. согласно функциональным требованиям
- укладка и последующий монтаж поставленного кабеля и принадлежностей, а так же испытания и ввод в действие
- обслуживание, нахождение повреждений и ремонтные работы

Для этих услуг мы предоставляем нашим клиентам команду инженеров, кабельные муфты для проведения обучения со специальными инструментами и современным оборудованием.

### **Пять правил безопасности**

1. Разъедините электрическую цепь
2. Примите меры от не санкционированного включения напряжения
3. Убедитесь, что в цепи нет напряжения
4. Установите должным образом заземление и цепи короткого замыкания
5. Надежно оградите расположенные рядом устройства под напряжением

## **5.3 Испытания**

5.3.1 Стандартные испытания

5.3.2 Типовые испытания

5.3.3 Испытания на месте установки

## Техническая информация

### Испытания

#### 1. Стандартные испытания

Каждый кабель перед отправкой подвергается стандартным испытаниям. Кабели среднего и высокого напряжения по всей своей длине проходят испытания на частичные разряды. Требования наших внутренних испытаний являются более строгими, чем необходимые по соответствующим стандартам, сравнение которых дается ниже как итог параметров испытаний. Наш многолетний опыт проведения испытаний на частичные разряды подтверждает правильность этого подхода. На рис.1 показана полностью экранированная комната для стандартных испытаний.

Каждый участок длины кабеля проходит испытания по следующим параметрам, которые регистрируются, а так же проверяются на соответствие требованиям спецификации и нашим внутренним руководящим принципам проверки качества:

- сопротивление изоляции (только для кабелей 1 кВ)
- геометрия
- сопротивление проводника
- диэлектрические потери
- способность выдерживать напряжение
- уровень частичных разрядов

#### Кабели

##### низкого напряжения, 1 кВ

Испытание напряжением	3.5 kV, 50 Hz, 10 min.
Сопротивление изоляции	PVC > 5 M $\Omega$ km PE, EPR > 50 M $\Omega$ km



Рис.1: Полностью экранированная комната

#### Кабель среднего напряжения, 10 – 30 кВ

	Стандарт Brugg Kabel	SEV 3437	VDE 0273 VDE 0276	IEC 502
<b>Способность выдерживать напряжение</b>	20 мин. при 15 кВ/мм, что соответствует 4 ... 7 x U <sub>0</sub>	20 мин. при 2,5 x U <sub>0</sub>	5 мин. при 2,5 x U <sub>0</sub>	5 мин. при 2,5 x U <sub>0</sub>
<b>Испытание на частичные разряды</b>	4 x U <sub>0</sub> , что соответствует: до 2 x U <sub>0</sub> < 1 pC выше 2 x U <sub>0</sub> < 5 pC	2 x U <sub>0</sub> ≤ 5 pC	2 x U <sub>0</sub> ≤ 5 pC	1,5 x U <sub>0</sub> ≤ 20 pC

#### Кабель высокого напряжения маслонаполненный (выборка)

U / U <sub>0</sub>	Макс. продолжительность рабочего напряжения	Стандартное испытание переменным током 50 Гц, 15 мин.	Типовые испытания	
			Переменный ток 50 Гц, 24 часа	Импульс
кВ	U <sub>m</sub> кВ	кВ	кВ	кВ
60/ 36	72,5	82	90	325
110/ 64	123	138	160	550
132/ 76	145	162	190	650
150/ 87	170	184	220	750
220/127	245	225	325	1050
380/220	420	395	500	1425

#### Кабель высокого напряжения с полимерной изоляцией (выборка)

U / U <sub>0</sub>	Макс. продолжительность рабочего напряжения	Стандартное испытание переменным током 50 Гц, 30 мин.	Типовое испытание циклических нагрузок после 20 при 2 x U <sub>0</sub>	
			Импульс	50 Гц, 15 мин.
кВ	U <sub>m</sub> кВ	кВ	кВ	кВ
110/ 64	123	160	550	160
132/ 76	145	190	650	190
150/ 87	170	220	750	220
220/127	245	320	1050	320
380/220	420	420	1425	440

## 2. Типовые испытания

Кабели всех конструктивных исполнений проверяются согласно соответствующим стандартам или в помещении (рис. 2), или в независимых лабораториях. Длительные испытания на проверку качества, разработка изделий,

а так же испытания, требуемые для контроля производственного процесса, согласно VDE 0276, выполняются в испытательных центрах Brugg Kabel AG в Brugg и в Birrfeld. На рис. 3 показана установка для длительных

испытаний средним напряжением в Brugg, а на рис. 4 - установка для длительных испытаний высоким напряжением в Birrfeld.



Рис. 2: Высоковольтная лаборатория в Brugg



Рис. 3: Установка для длительных испытаний средним напряжением в Brugg



Рис 4: Установка для длительных испытаний высоким напряжением в Birrfeld.

### 3. Испытания на месте установки

Brugg Kabel AG предлагает широкий объем услуг для монтажа и приемосдаточных испытаний, периодических тестов и диагностических измерений с целью определения остаточного срока службы кабеля.

Предлагаемые услуги включают:

- Испытания напряжением переменного и постоянного тока на месте проведения работ для новых трасс. На рис. 5 и рис. 6 показано устройство для резонансных испытаний кабелей среднего напряжения.

- Измерения положительных и нулевых последовательных полных сопротивлений.
- Определение работоспособности старых трасс при помощи диполяризационного измерительного прибора тока (рис. 7), который был разработан Федеральным Институтом Технологии ETH (Цюрих) в сотрудничестве с Brugg Kabel AG.

- Измерение частичных разрядов на соединениях во время испытаний и функционирования (мониторинг).
- Определение места повреждения кабеля (рис. 8).
- Определение местоположения подземных кабельных трасс.



Рис. 5: Устройство для резонансных испытаний переменным током



Рис. 6: Устройство для резонансных испытаний переменным током



Рис. 7: Диполяризационного измерительного прибора тока



Рис. 8: Определение места повреждения кабеля