PROTOLON (M) | R-(N)TSCGEWOEU LWL | 8,7/15 (17,5) кВ | испытание 24 кВ | 5DK5 | Design Review + FMEA

PROTOLON (M) R-(N)TSCGEWOEU LWL 8,7/15 кВ — инженерное проектирование, приемка и предотвращение отказов

Профессиональное руководство для проектировщиков, эксплуатационных инженеров и служб надежности открытых горных работ.

Кабель является частью единой электромеханической и информационной системы. Силовые жилы, split earth, оптический элемент, барабан, привод намотки, ролики, концевые муфты и система управления должны проектироваться и проверяться совместно.

Главная ошибка — выбирать кабель только по току. Реальный ресурс определяется сочетанием электрического поля, теплового режима, радиуса, натяжения, ускорения, давления между слоями, качества termination и стабильности оптики после повторных циклов.

U0/U 8,7/15 (17,5) кВ | номинальное напряжение 15 000 В | испытание 24 кВ | 20 Н/мм² статически | 25 Н/мм² динамически | до 120 м/мин

Серия	Ток	Оптика	Механика
5DK5	**139–660 A**	**6–24**	**10×D**
14 типоразмеров	паспортный диапазон	G62,5 / G50 / E9	подвижный радиус

Содержание

1. Design Review
2. Конструкция
3. Электрическое поле
4. Барабанная механика
5. FO/LWL
6. FMEA
7. Размеры
8. Расчеты
9. Приемка
10. Диагностика

1. Engineering Design Review до заказа

Минимальный пакет исходных данных: тип машины; мощность; рабочий и пусковой ток; активная длина; mono-spiral или cylindrical reel; диаметр сердечника; ширина; число слоев; скорость; ускорение; угол схода; ролики; температура; среда; число и тип fibers; termination; защита; режим заземления.

Электрическая часть

Проверяются ток, падение напряжения, зарядный ток, координация защиты, ток короткого замыкания и termination.

Механическая часть

Проверяются радиус, тяга, ускорение, кручение, число слоев, угол схода, давление между витками и ролики.

Оптическая часть

Проверяются тип fiber, число каналов, оптический бюджет, коннекторы, OTDR baseline и резерв.

Надежность

Определяются контролируемые параметры, интервалы диагностики и критерии вывода из эксплуатации.

2. Конструкция и функциональное назначение слоев

R-(N)TSCGEWOEU LWL 15 кВ · split earth · optical element · polyester braid



Функциональные слои и контроль

① класс FS: гибкость и усталостная стойкость

② semi-conductive EPR: управление полем

③ EPR >3GI3: основная изоляция

④ NBR easy-strip: подготовка termination

⑤ split earth: контроль непрерывности

⑥ шесть оптических трубок вокруг опоры

⑦ GM1b + полиэфирная оплетка + PCP >5GM5

8,7/15 (17,5) кВ · испытание 24 кВ

Доступны 6, 12, 18 или 24 fibers типов G62,5, G50 и E9.

Конструкция объединяет силовую, защитную, оптическую и механическую подсистемы.

Проводникособо гибкая голая медь, класс FS

PEособо гибкая голая медь, split earth в междужильях

Внутренний полупроводящий слойsemi-conductive EPR

ИзоляцияEPR, технический ориентир PROTOLON, смесь >3GI3

Наружный полупроводящий слойNBR easy-strip

Оптический элементшесть трубок вокруг центральной опоры, по 1–4 fibers

Внутренняя оболочкаEPR GM1b

Армированиеполиэфирная оплетка

Внешняя оболочкаPCP, смесь >5GM5

3. Электрическое поле, termination и PD

Снятие easy-strip слоя

Канавки, ступеньки и надрезы на EPR становятся локальными усилителями электрического поля.

Частичные разряды

PD у termination часто связан с качеством разделки, загрязнением или неправильной геометрией stress control.

Разгрузка натяжения

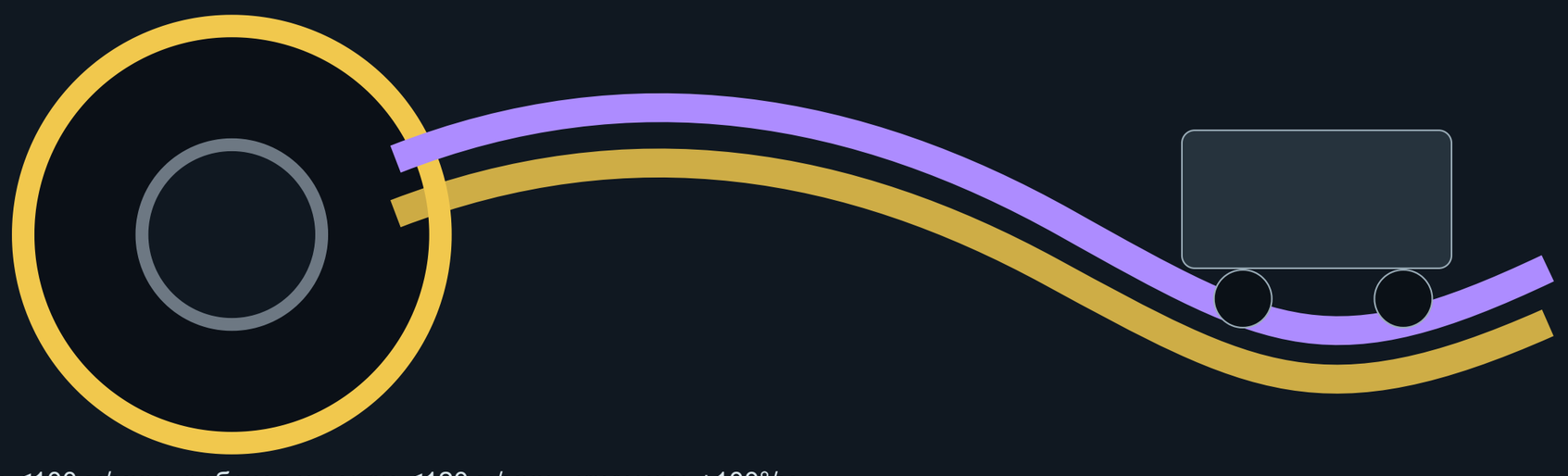
Нужен свободный гибкий участок и strain relief, не передающий тягу на электрическую разделку.

Испытание 24 кВ

Протокол должен быть привязан к конкретному барабану, длине, SAP-коду и маркировке.

4. Барабанная механика

PROTOLON (M) R-(N)TSCGEWOEU LWL · 8,7/15 кВ · механический контур



перемотка ≤100 м/мин · рабочая намотка ≤120 м/мин · кручение ±100°/м

Rфикс = 6×D · Rподв = 10×D · S-переход ≥20×D

Проектировать нужно диаметр барабана, натяжение, ускорение, угол схода, ролики и давление между слоями.

Механический ресурс определяется всей системой намотки, а не только паспортным радиусом.

Конструкция	Dmax	10×D радиус	Минимальный диаметр по оси	20×D S-участок	Масса
3x25+2x25/2+FO	46,6 мм	466 мм	932 мм	932 мм	2,91 кг/м
3x25+2x50/2+FO	48,9 мм	489 мм	978 мм	978 мм	3,25 кг/м
3x35+2x25/2+LWL	46,9 мм	469 мм	938 мм	938 мм	3,18 кг/м
3x35+2x50/2+FO	50,5 мм	505 мм	1010 мм	1010 мм	3,6 кг/м
3x50+2x25/2+LWL	50,5 мм	505 мм	1010 мм	1010 мм	3,9 кг/м
3x50+2x50/2+LWL	55 мм	550 мм	1100 мм	1100 мм	4,5 кг/м
3x70+2x35/2+LWL	56 мм	560 мм	1120 мм	1120 мм	5,02 кг/м
3x70+2x50/2+LWL	56 мм	560 мм	1120 мм	1120 мм	5,13 кг/м
3x95+2x50/2+LWL	60,2 мм	602 мм	1204 мм	1204 мм	6,18 кг/м
3x120+2x70/2+LWL	65,3 мм	653 мм	1306 мм	1306 мм	7,6 кг/м
3x150+2x70/2+LWL	69,3 мм	693 мм	1386 мм	1386 мм	8,82 кг/м
3x185+2x95/2+LWL	73,1 мм	731 мм	1462 мм	1462 мм	10,3 кг/м
3x240+2x120/2+LWL	80,6 мм	806 мм	1612 мм	1612 мм	13,14 кг/м
3x300+2x150/2+LWL	88,5 мм	885 мм	1770 мм	1770 мм	16,04 кг/м

Важно: минимальный диаметр по оси — только геометрический ориентир. Реальный барабан может потребовать большего диаметра из-за числа слоев, ускорения, натяжения и требуемого ресурса.

5. FO/LWL: оптическое проектирование и приемка

Специальные строки: 3x25+2x25/2+FO, 3x25+2x50/2+FO и 3x35+2x50/2+FO сохраняются именно как FO; остальные позиции имеют обозначение LWL. Доступны 6, 12, 18 или 24 fibers типов G62,5/125, G50/125 и E9/125.

Параметр	G62,5/125	G50/125	E9/125
Диаметр оболочки	125 мкм	125 мкм	125 мкм
Диаметр волокна	250 мкм	250 мкм	250 мкм
Затухание при 850 нм	<3,3 дБ/км	<2,8 дБ/км	—
Затухание при 1310 нм	<0,9 дБ/км	<0,8 дБ/км	<0,4 дБ/км
Затухание при 1550 нм	—	—	<0,3 дБ/км
Полоса при 850 нм	>400 МГц	>400 МГц	—
Полоса при 1310 нм	>600 МГц	>1200 МГц	—
Числовая апертура	0,275 ±0,02	0,2 ±0,02	0,14 ±0,02
Дисперсия при 1300 нм	—	—	<3,5 пс/(нм·км)
Дисперсия при 1550 нм	—	—	<18 пс/(нм·км)

Оптический бюджет

Учитываются fiber, соединения, коннекторы, старение и дополнительный запас на динамическую эксплуатацию.

OTDR baseline

До размотки фиксируется трасса каждого волокна; после монтажа и обкатки выполняется повторное измерение.

Макроизгиб

Локальный рост затухания часто указывает на малый радиус, сжатие трубки или неправильный ролик.

Резерв

Резервные fibers и каналы должны быть включены в проект осознанно.

6. FMEA: предотвращение повторных отказов

FMEA: основные цепочки отказа

Малый радиус / перекос
деформация оболочки
усталость жил и трубок

Неправильная разделка
дефект EPR / stress control
частичные разряды

Сжатие оптики
рост затухания
ошибки управления

Усталость PE
рост RPE
потеря защиты

Механическая причина → электрический или оптический симптом → подтверждение локализации.

Сопоставляйте длину дефекта с положением на барабане, роликом, слоем намотки и OTDR-трассой.

Без устранения первопричины повторная замена кабеля часто воспроизводит тот же отказ.

FMEA переводит диагностику от симптома к первопричине.

Надрез EPR

Причина: неправильная разделка.
Эффект: PD и пробой.
Контроль: визуальный контроль и фотофиксация.

Малый радиус

Причина: барабан или ролик меньше расчетного.
Эффект: усталость жил, PE и optical tubes.
Контроль: измерение геометрии.

Ударная тяга

Причина: резкий пуск или заклинивание.
Эффект: повреждение проводников и оплетки.
Контроль: запись натяжения и ускорения.

Macro-bend оптики

Причина: локальное сжатие или S-переход короче 20×D.
Эффект: потеря связи.
Контроль: OTDR и локализация.

7. Стандарты и approvals

EN 50525-2-21

Электрические параметры.

DIN VDE 0207-21

Материалы и смеси.

DIN VDE 0298-3

Механические параметры и радиусы.

DIN VDE 0250-813

Общая конструкционная база.

IEC 60811-404

Химические испытания материалов.

IEC 60332-1-2

Нераспространение пламени.

GOST-R/-K/-B

Сертификационный и пожарный контекст.

VDE 0298-4

Токовая нагрузка на поверхности при 30 °C.

8. Размеры, масса и расчетные радиусы

Конструкция	SAP	Внешний код	Проводник, мм	Dmin, мм	Dmax, мм	Масса, кг/км	Split earth	FO/LWL	6×D	10×D	20×D
3x25+2x25/2+FO	M_R_L_15KV_005	5DK5***	7,1	43,6	46,6	2 910	2x25/2	FO	279,6	466	932
3x25+2x50/2+FO	M_R_L_15KV_006	5DK5***	7,1	45,9	48,9	3 250	2x50/2	FO	293,4	489	978
3x35+2x25/2+LWL	M_R_L_15KV_008	5DK5***	8,4	43,9	46,9	3 180	2x25/2	LWL	281,4	469	938
3x35+2x50/2+FO	M_R_L_15KV_009	5DK5***	8,4	47,5	50,5	3 600	2x50/2	FO	303	505	1010
3x50+2x25/2+LWL	M_R_L_15KV_010	5DK5***	10,1	47,5	50,5	3 900	2x25/2	LWL	303	505	1010
3x50+2x50/2+LWL	M_R_L_15KV_011	5DK5***	10,1	51	55	4 500	2x50/2	LWL	330	550	1100
3x70+2x35/2+LWL	M_R_L_15KV_012	5DK5***	11,8	52	56	5 020	2x35/2	LWL	336	560	1120
3x70+2x50/2+LWL	M_R_L_15KV_013	5DK5***	11,8	52	56	5 130	2x50/2	LWL	336	560	1120
3x95+2x50/2+LWL	M_R_L_15KV_014	5DK5***	13,8	56,2	60,2	6 180	2x50/2	LWL	361,2	602	1204
3x120+2x70/2+LWL	M_R_L_15KV_001	5DK5***	15,5	61,3	65,3	7 600	2x70/2	LWL	391,8	653	1306
3x150+2x70/2+LWL	M_R_L_15KV_002	5DK5***	17,4	65,3	69,3	8 820	2x70/2	LWL	415,8	693	1386

Конструкция	SAP	Внешний код	Проводник, мм	Dmin, мм	Dmax, мм	Масса, кг/км	Split earth	FO/LWL	6×D	10×D	20×D
3x185+2x95/2+LWL	M_R_L_15KV_003	5DK5***	19,2	69,1	73,1	10 300	2x95/2	LWL	438,6	731	1462
3x240+2x120/2+LWL	M_R_L_15KV_004	5DK5***	22,1	76,6	80,6	13 140	2x120/2	LWL	483,6	806	1612
3x300+2x150/2+LWL	M_R_L_15KV_007	5DK5***	24,7	83,5	88,5	16 040	2x150/2	LWL	531	885	1770

9. Электрические и механические расчеты

Расчет мощности использует cosφ = 0,9. Падение напряжения рассчитано по активному сопротивлению на 100 м и является предварительной оценкой. Для двигателя требуется учет реактивной составляющей, пуска и фактической температуры.

Конструкция	Fстат, Н	Fдин, Н	C, нФ/км	L, мГн/км	R20, Ом/км	Ток, А	А/мм²	≈ МВА	≈ МВт	≈ ΔU/100 м
3x25+2x25/2+FO	1 500	1 875	260	0,36	0,7839	139	5,56	3,61	3,25	0,13%
3x25+2x50/2+FO	1 500	1 875	260	0,38	0,7839	139	5,56	3,61	3,25	0,13%
3x35+2x25/2+LWL	2 100	2 625	290	0,33	0,554	172	4,91	4,47	4,02	0,11%
3x35+2x50/2+FO	2 100	2 625	290	0,35	0,554	172	4,91	4,47	4,02	0,11%
3x50+2x25/2+LWL	3 000	3 750	330	0,31	0,386	215	4,3	5,59	5,03	0,1%
3x50+2x50/2+LWL	3 000	3 750	330	0,32	0,386	215	4,3	5,59	5,03	0,1%
3x70+2x35/2+LWL	4 200	5 250	370	0,3	0,272	265	3,79	6,88	6,2	0,08%
3x70+2x50/2+LWL	4 200	5 250	370	0,3	0,272	265	3,79	6,88	6,2	0,08%
3x95+2x50/2+LWL	5 700	7 125	410	0,28	0,206	319	3,36	8,29	7,46	0,08%
3x120+2x70/2+LWL	7 200	9 000	450	0,27	0,161	371	3,09	9,64	8,67	0,07%
3x150+2x70/2+LWL	9 000	11 250	500	0,27	0,129	428	2,85	11,12	10,01	0,06%
3x185+2x95/2+LWL	11 100	13 875	540	0,26	0,106	488	2,64	12,68	11,41	0,06%
3x240+2x120/2+LWL	14 400	18 000	600	0,25	0,0801	574	2,39	14,91	13,42	0,05%
3x300+2x150/2+LWL	18 000	22 500	660	0,25	0,0641	660	2,2	17,15	15,43	0,05%

10. Зарядный ток и реактивная мощность

$I_c = 2\pi f C U_0$

$Q_c \approx \sqrt{3} \times U \times I_c$

f = 50 Гц

U_0 = 8,7 кВ

U = 15 кВ

Конструкция	C, нФ/км	Ic, А/км	Qc, квар/км
3x25+2x25/2+FO	260	0,711	18,5
3x25+2x50/2+FO	260	0,711	18,5
3x35+2x25/2+LWL	290	0,793	20,6
3x35+2x50/2+FO	290	0,793	20,6
3x50+2x25/2+LWL	330	0,902	23,4
3x50+2x50/2+LWL	330	0,902	23,4
3x70+2x35/2+LWL	370	1,011	26,3
3x70+2x50/2+LWL	370	1,011	26,3
3x95+2x50/2+LWL	410	1,121	29,1
3x120+2x70/2+LWL	450	1,23	32
3x150+2x70/2+LWL	500	1,367	35,5
3x185+2x95/2+LWL	540	1,476	38,3
3x240+2x120/2+LWL	600	1,64	42,6
3x300+2x150/2+LWL	660	1,804	46,9

11. Проверка тяги

Fстат = 20 Н/мм² × 3 × S

Fдин = 25 Н/мм² × 3 × S

Rфикс = 6 × D

Rподв = 10 × D

S-переход ≥ 20 × D

испытательное напряжение = 24 кВ

Конструкция	Сечение	Расчет Fстат	Табличное значение	Fдин	Статус
3x25+2x25/2+FO	25 мм²	1 500 Н	1 500 Н	1 875 Н	соответствует
3x25+2x50/2+FO	25 мм²	1 500 Н	1 500 Н	1 875 Н	соответствует
3x35+2x25/2+LWL	35 мм²	2 100 Н	2 100 Н	2 625 Н	соответствует
3x35+2x50/2+FO	35 мм²	2 100 Н	2 100 Н	2 625 Н	соответствует
3x50+2x25/2+LWL	50 мм²	3 000 Н	3 000 Н	3 750 Н	соответствует
3x50+2x50/2+LWL	50 мм²	3 000 Н	3 000 Н	3 750 Н	соответствует
3x70+2x35/2+LWL	70 мм²	4 200 Н	4 200 Н	5 250 Н	соответствует
3x70+2x50/2+LWL	70 мм²	4 200 Н	4 200 Н	5 250 Н	соответствует
3x95+2x50/2+LWL	95 мм²	5 700 Н	5 700 Н	7 125 Н	соответствует
3x120+2x70/2+LWL	120 мм²	7 200 Н	7 200 Н	9 000 Н	соответствует
3x150+2x70/2+LWL	150 мм²	9 000 Н	9 000 Н	11 250 Н	соответствует
3x185+2x95/2+LWL	185 мм²	11 100 Н	11 100 Н	13 875 Н	соответствует
3x240+2x120/2+LWL	240 мм²	14 400 Н	14 400 Н	18 000 Н	соответствует
3x300+2x150/2+LWL	300 мм²	18 000 Н	18 000 Н	22 500 Н	соответствует

12. Быстрый инженерный выбор

Конструкция	Ток	≈ активная мощность	Оптика	Dmax	Предварительное применение
3x25+2x25/2+FO	139 А	3,25 МВт	FO	46,6 мм	вспомогательный привод или компактная машина
3x25+2x50/2+FO	139 А	3,25 МВт	FO	48,9 мм	вспомогательный привод или компактная машина
3x35+2x25/2+LWL	172 А	4,02 МВт	LWL	46,9 мм	вспомогательный привод или компактная машина
3x35+2x50/2+FO	172 А	4,02 МВт	FO	50,5 мм	вспомогательный привод или компактная машина
3x50+2x25/2+LWL	215 А	5,03 МВт	LWL	50,5 мм	дробильный, перегрузочный или конвейерный привод
3x50+2x50/2+LWL	215 А	5,03 МВт	LWL	55 мм	дробильный, перегрузочный или конвейерный привод
3x70+2x35/2+LWL	265 А	6,2 МВт	LWL	56 мм	дробильный, перегрузочный или конвейерный привод
3x70+2x50/2+LWL	265 А	6,2 МВт	LWL	56 мм	дробильный, перегрузочный или конвейерный привод
3x95+2x50/2+LWL	319 А	7,46 МВт	LWL	60,2 мм	крупный экскаваторный или магистральный привод
3x120+2x70/2+LWL	371 А	8,67 МВт	LWL	65,3 мм	крупный экскаваторный или магистральный привод
3x150+2x70/2+LWL	428 А	10,01 МВт	LWL	69,3 мм	крупный экскаваторный или магистральный привод
3x185+2x95/2+LWL	488 А	11,41 МВт	LWL	73,1 мм	высокомощный привод; обязательна полная проверка барабана
3x240+2x120/2+LWL	574 А	13,42 МВт	LWL	80,6 мм	высокомощный привод; обязательна полная проверка барабана
3x300+2x150/2+LWL	660 А	15,43 МВт	LWL	88,5 мм	высокомощный привод; обязательна полная проверка барабана

13. Заводская и объектовая приемка

- Идентификация барабана, длины, SAP-кода и маркировки.
- Проверка протокола 24 кВ и электрических измерений.
- Измерение R20 и непрерывности split earth.
- OTDR-трассы всех fibers до размотки и после монтажа.
- Проверка Dmax, барабана, роликов, S-переходов и свободного участка у termination.
- Фотофиксация разделки полупроводящего слоя и stress control.
- Проверка направления намотки, скорости, ускорения и настройки натяжения.

14. Эксплуатационная диагностика

PD у termination: проверить разделку EPR, чистоту, stress control и механическую разгрузку.

Повторный дефект на одной длине: сопоставить положение с роликом, барабаном и перекрестной точкой слоя.

Рост OTDR-затухания: искать macro-bend, локальное сжатие или деформацию оболочки.

Рост сопротивления PE: проверить усталостное повреждение split earth.

Локальный перегрев: проверить контактное сопротивление termination и фактический токовый профиль.

15. Инженерные ограничения

Расчетные значения мощности, падения напряжения, зарядного тока, реактивной мощности, радиуса и динамической тяги предназначены для предварительного проектирования. Они не заменяют расчет короткого замыкания, тепловое моделирование многослойной намотки, координацию защиты, анализ PD, оптический бюджет и утвержденный производственный чертеж.

Feichun Cable — инженерный подбор барабанных кабелей 8,7/15 кВ с интегрированной оптикой

Телефон:
+86 13855123218

Техническая почта:
Tech@feichuncables.com

Feichun Cable не аффилирован с владельцами обозначений PROTOLON или PROTOFIRM. Названия используются как технические перекрестные обозначения из предоставленной спецификации. Конкретная поставка подтверждается документами партии.