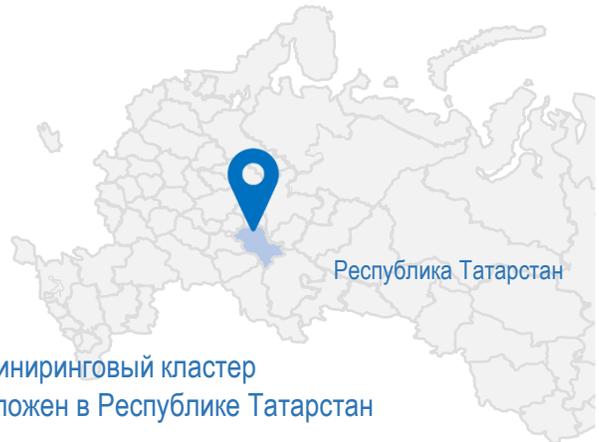


Современный подход к расчету эксплуатационных параметров высоковольтных кабельных линий



Предприятия «Фонд-Сервис» – ключевые поставщики на рынке России и СНГ с опытом реализации **масштабных инфраструктурных проектов, государственных программ и нацпроектов**. Заказчики продукции и услуг «Фонд-Сервис» – крупнейшие предприятия из высокотехнологичных отраслей России:



Производственно-инжиниринговый кластер «Фонд Сервис» расположен в Республике Татарстан

- 2019**
 - создание **ООО «Фонд Сервис»**
- 2020**
 - создание **ООО «Завод Инвэнт Электро»**
 - начало производства блочно-модульных подстанций на напряжение до 35 кВ
 - создание **ООО «Завод ТАТКАБЕЛЬ»**
 - начало выпуска огнестойкого кабеля низкого, среднего и высокого напряжения FRHF
 - начало выпуска кабеля с этиленпропиленовой изоляцией
 - изготовление опытного образца кабеля напряжением 500кВ сечением до 2500 кв. мм.





Кабельно-проводниковый дивизион



24 тыс. тонн¹
4 тыс. км в год

- ▶ Производство всех типов кабелей, в т.ч. уникального кабеля на сверхвысокое напряжение до 500 кВ и кабелей больших сечений токопроводящих жил,
- ▶ Лаборатория для испытаний электрооборудования и кабельной продукции при напряжении до 700 кВ.

Электротехнический дивизион



1 000 ед. модулей подстанций
5 000 ед. шкафов и ячеек

- ▶ Производство:
 - ▶ электроподстанций (в т.ч. киосковых, столбовых, мачтовых, тяговых, подземных),
 - ▶ и распределительных устройств среднего и низкого напряжения.

(1) – по весу металлов (Cu+Al)





Технологические преимущества

- ▶ Уникальная технология **полного цикла** производства кабеля **в одном** производственном цеху.
- ▶ Собственная высоковольтная лаборатория для испытаний электротехнического оборудования и кабельной продукции на сверхвысокое напряжение до 750кВ.



Оснащение завода

Установлено 14 единиц высокотехнологичного оборудования **ведущих мировых производителей:**

- ▶ Niehoff (Германия) – линии волочения
- ▶ Caballe (Испания) – линии скрутки
- ▶ Maillefer (Финляндия) – линии наложения изоляции
- ▶ Rosendahl (Германия) – линии наложения оболочки



Преимущества продукции, услуг и решений

- ▶ Квалификация и опыт в проектировании и прокладке кабельных линий до 330 кВ, опыт поставки кабельных линий на напряжение 330 кВ протяженностью свыше 90 км
- ▶ Поставки **комплексных решений** кабельных систем
- ▶ Изготовление кабеля с токопроводящей жилой (алюминий и медь) до 2 500 мм² включительно, что позволяет передавать токи больших значений.
- ▶ **Максимальная** строительная длина намотки кабеля (на барабаны с диаметром щеки до 4 500 мм и шириной 2 500 мм), что ведет к уменьшению затрат на монтаж и повышению надежности кабельных линий



Производственная мощность

	500 кВ	330 кВ	220 кВ	110 кВ	6-35 кВ
Напряжение					
Объем производства	288 км / год	360 км / год	520 км / год	950 км / год	1 700 км / год

ISO

Интегрированная система менеджмента

- ▶ **Система менеджмента качества** и продукция завода соответствует высоким отечественным и международным стандартам (ISO 9001-2008, ГОСТ Р, IEC (МЭК)).
- ▶ С целью улучшения результатов деятельности и выполнения применимых требований законодательства РФ в ООО «Завод ТАТКАБЕЛЬ» внедрена система экологического менеджмента в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14001-2016 (ISO 14001:2015) и система менеджмента безопасности труда в соответствии с требованиями ISO 45001:2015. На текущий момент проходит процедура сертификации.



	Напряжение	Сечение жилы	Номенклатура
Силовые кабели	высокое напряжение 110-500 кВ	185-2500 мм ²	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Кабели для прокладки в земле (А)ПвП(у)2г и т.п. ▶ Кабели для прокладки в земле и на воздухе (А)ПвПнг(А)2г-НФ и т.п. ▶ Огнестойкие кабели (А)ПвПнг(А)2г-FRHF и т.п.
	среднее напряжение 6-35 кВ	35-1600 мм ²	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Пожаробезопасные типа «нг», «нг-LS», «нг-НФ» и огнестойкие типа нг(А)-FRHF ▶ С оболочкой из полиэтилена высокой плотности и аналог «Multi-Wiski»
	низкое напряжение 0,66-3 кВ	10-800 мм ²	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Кабели типа «нг», «нг-LS», «нг-НФ», «нг-FRLS», «нг-FRHF», бронированные и небронированный
Провода	Самонесущие изолированные 0,66/1кВ	16-240 мм ²	<ul style="list-style-type: none"> ▶ СИП-1, СИП-2, СИП-4, в т.ч. не распространяющие горение
	Самонесущие и защищенные 10-20, 35кВ	35-240 мм ²	<ul style="list-style-type: none"> ▶ СИП-3, в т.ч. не распространяющие горение

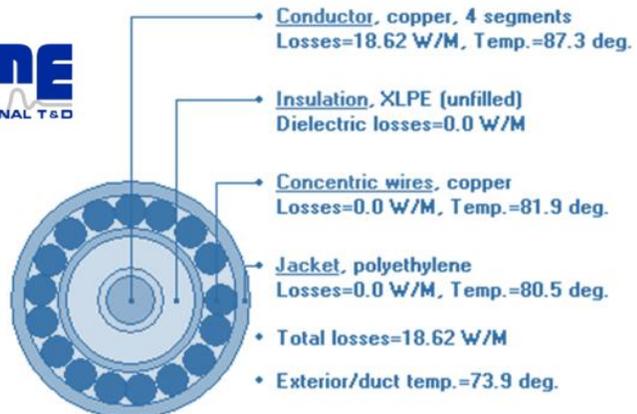
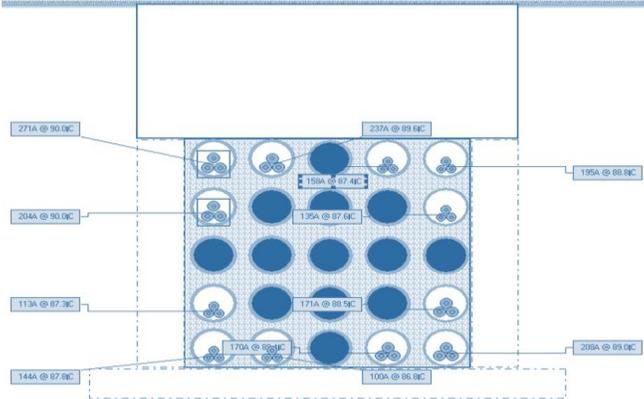


КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ

Участие в проектировании

- Выбор сечения жилы и экрана кабеля, исходя из токовых нагрузок, с применением **специализированного ПО СУМСАР (Канада)**

Fq=50 Hz R= IEC-228 Ambient temp.= 15.0°C



Производство и комплексная поставка

- Силовые кабели
- Кабельную арматуру ведущих мировых производителей
- Кабели заземления экранов
- Комплектующие (ящики заземления и транспозиции экранов, хомуты и т.п.)
- Системы мониторинга температуры и частичных разрядов (ЧР) в кабельных линиях

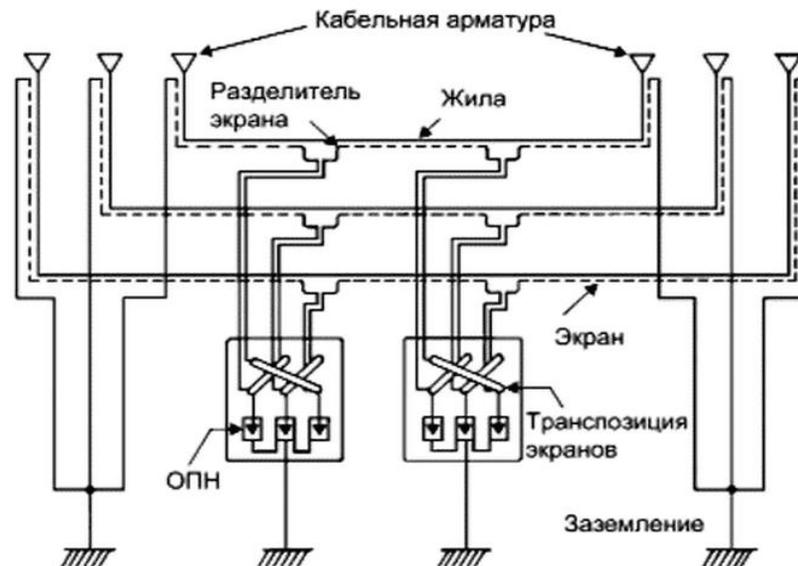


Монтаж

- С привлечением партнеров:
 - прокладка кабеля с изоляцией из СПЭ
 - монтаж кабельной арматуры и систем температурного мониторинга
 - нанесение средств огнезащиты
- Шеф-надзор на всех стадиях строительства высоковольтных кабельных линий (вплоть до приёмо-сдаточных испытаний всей кабельной системы)
- Постоянный мониторинг и расширение существующей базы партнёров по оказанию сопутствующих услуг при реализации проектов
- Проведение монтажных работ только специализированными организациями, прошедшими обучение, имеющими сертификаты и современное оборудование и инструмент
- Консультирование подрядных организаций прокладке высоковольтного кабеля
- Консультирование проектных и эксплуатирующих организаций в онлайн режиме
- Проведение презентаций для проектирующих, генподрядных организаций и заказчиков

Завод ТАТКАБЕЛЬ оказывает консультационную поддержку проектным и эксплуатирующим организациям в части расчета эксплуатационных характеристик силовых кабелей

- Расчет эксплуатационных параметров кабельных линий;
- Расчет пропускной способности кабельных линий;
- Расчет перегрузочной способности кабельных линий;
- Выбор схем заземления экранов кабелей;
- Определение наилучшего вида прокладки;
- Выбор необходимой кабельной арматуры и дополнительного оборудования (системы мониторинга, коробки заземления и транспозиции и др.);



Допустимая токовая нагрузка – основной технический параметр кабельной линии, показывает величину тока, которую можно передать по КЛ при условии, что температура жилы не превысит допустимую температуру нагрева 90°C. Измеряется в амперах (А)



Увеличение допустимой температуры нагрева кабеля

Применение материалов с улучшенными температурными характеристиками

Сшитый полиэтилен XLPE

- рабочая температура 90 °С;
- хорошие диэлектрические и эксплуатационные характеристики.

Этиленпропиленовая резина EPR

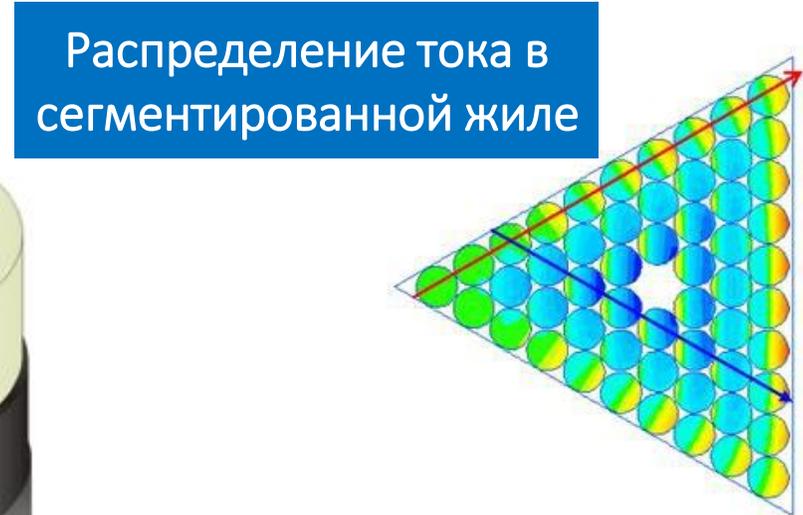
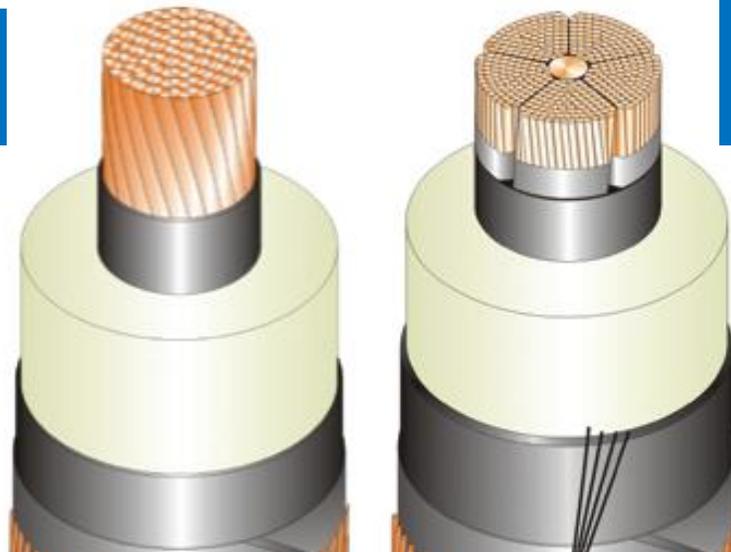
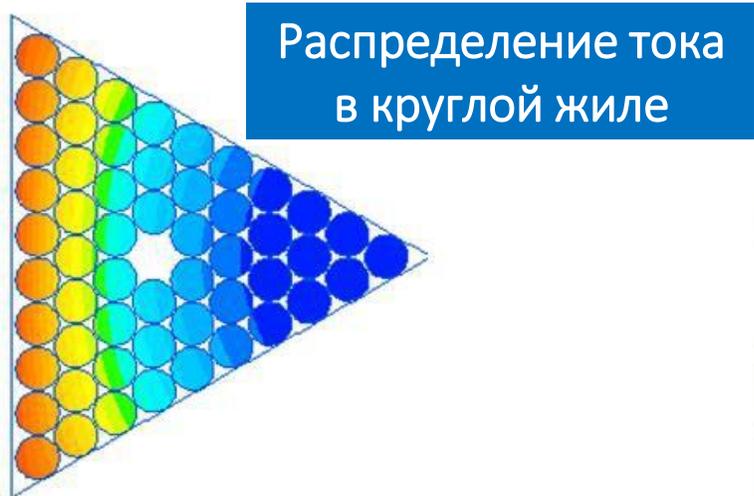
- рабочая температура 105 °С;
- высокая стойкость к воздействию влаги и к образованию водных триингов

Уменьшение или исключение потерь электроэнергии

1. Увеличение сечения кабелей. $\nearrow S = \searrow R$

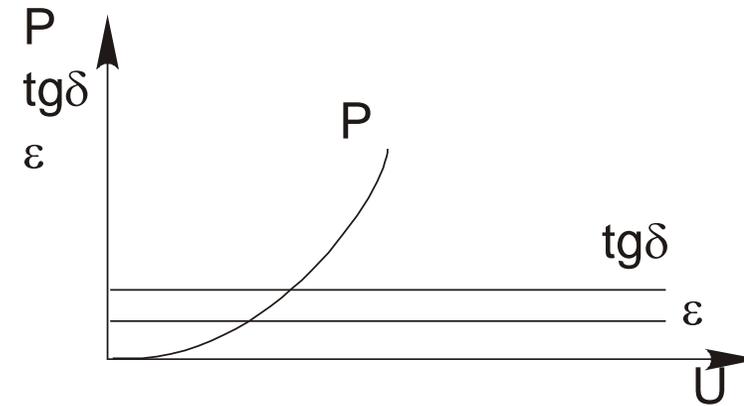
Сечение, мм кв.	Сопротивление постоянному току при 20°C, Ом/км													
	185	240	300	400	500	625	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2500
Медные жилы	0,0991	0,0754	0,0601	0,047	0,036	0,0283	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0101	0,009	0,0072
Алюминиевые жилы	0,164	0,125	0,1	0,0778	0,061	0,0469	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,018	0,0165	0,0149	0,0119

2. Применение сегментированных жил.



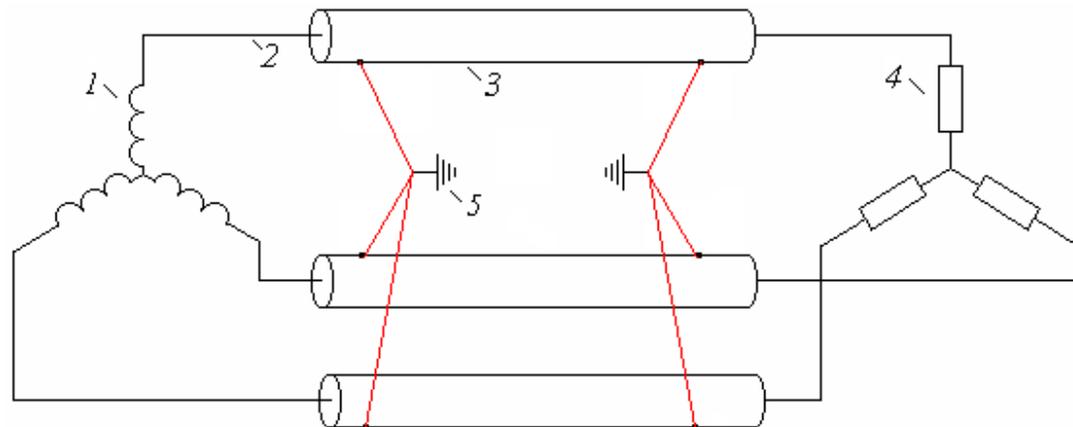
3. Уменьшение диэлектрических потерь

Применение материалов с малой диэлектрической проницаемостью и тангенсом угла диэлектрических потерь.

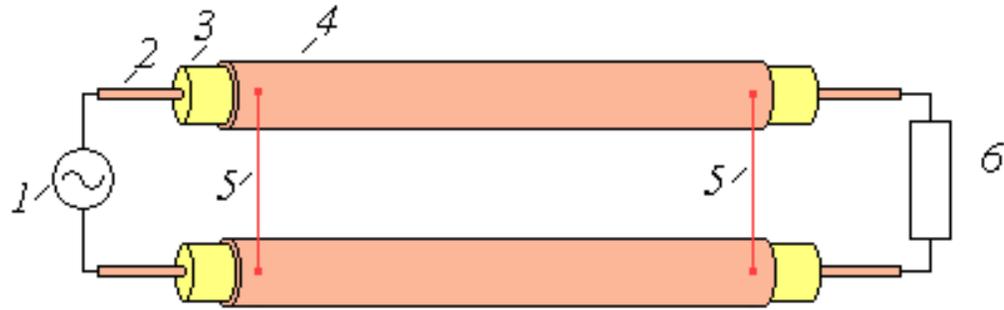


$$P = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \quad [\text{Вт}]$$

4. Уменьшение и исключение потерь в экранах кабелей

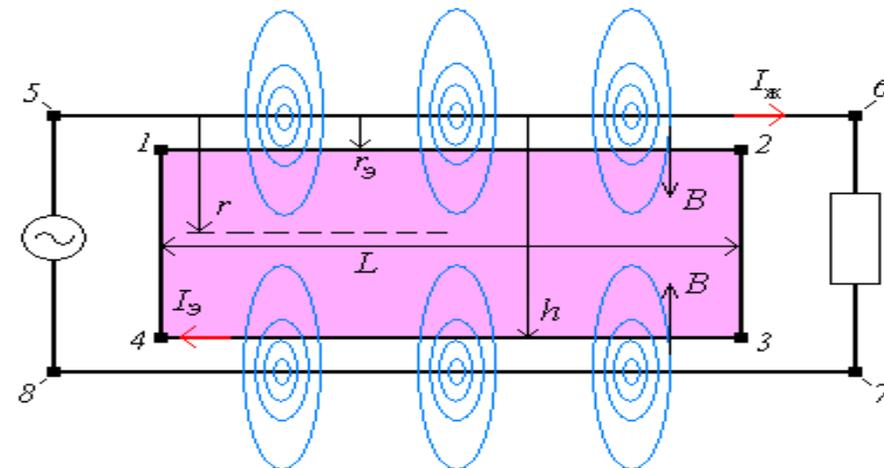
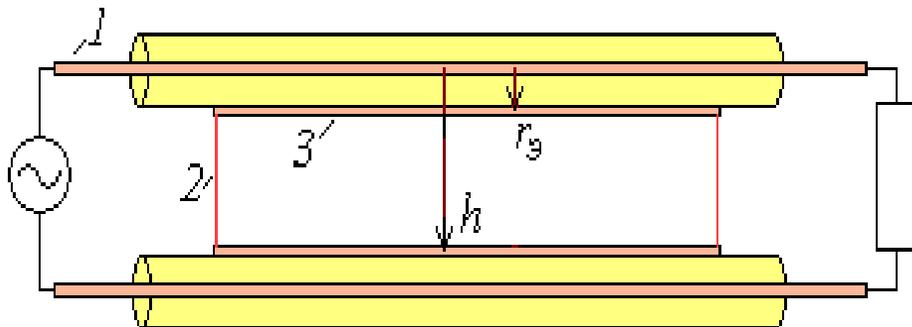


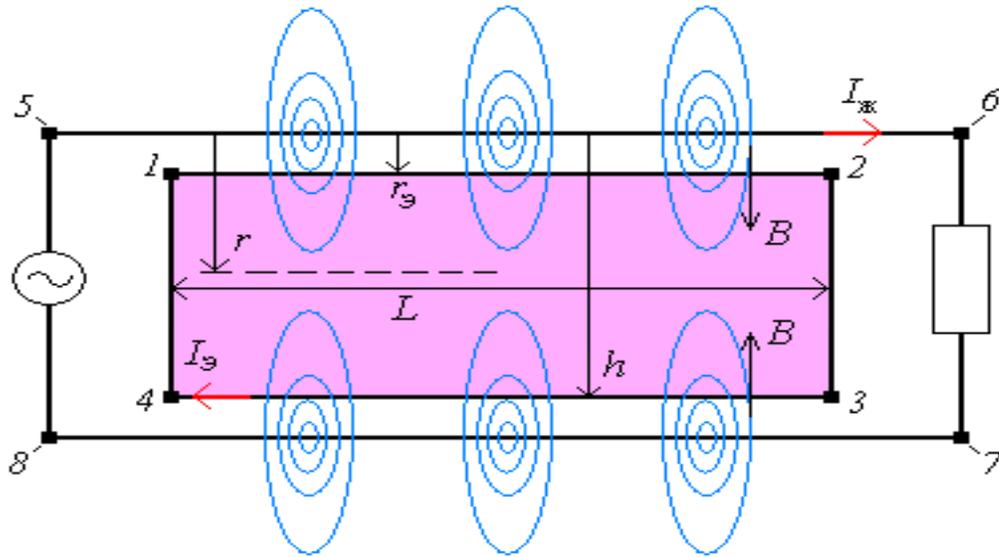
1 – генератор, 2 – токопроводящая жила кабеля, 3 – оболочка (экран) кабеля, 4 – приемник электроэнергии, 5 – заземление



- Два одножильных кабеля:
- 1 – генератор;
 - 2 – токопроводящая жила кабеля
 - 3 – изоляция;
 - 4 – экран;
 - 5 – переключки;
 - 6 – приемник электроэнергии

Экраны КЛ заземлены с обоих концов, потенциал одинаковый и равен потенциалу земли. Таким образом, на эквивалентной схеме можем изобразить экран, как замкнутый контур 1-2-3-4.





Магнитный поток

$$\Psi = \oint_S B dS \quad \Psi = L \int_{r_э}^h B dr$$

Ток в экране

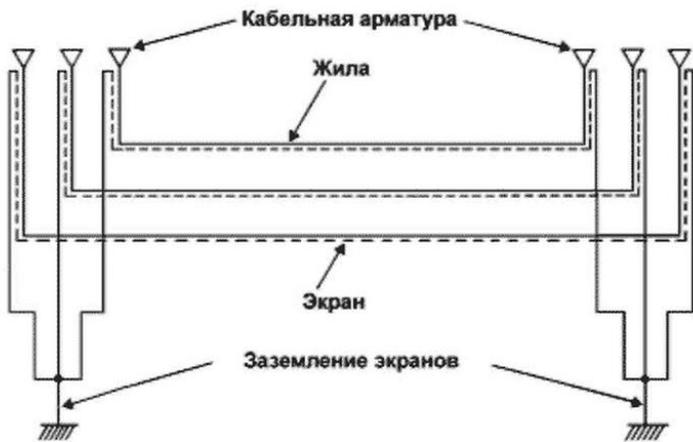
$$I_э = I_ж \frac{\omega M}{\sqrt{R_э^2 + (\omega M)^2}}$$

При прокладке кабелей с заземлением экранов с двух сторон в экранах возникают паразитные потери, которые возрастают:

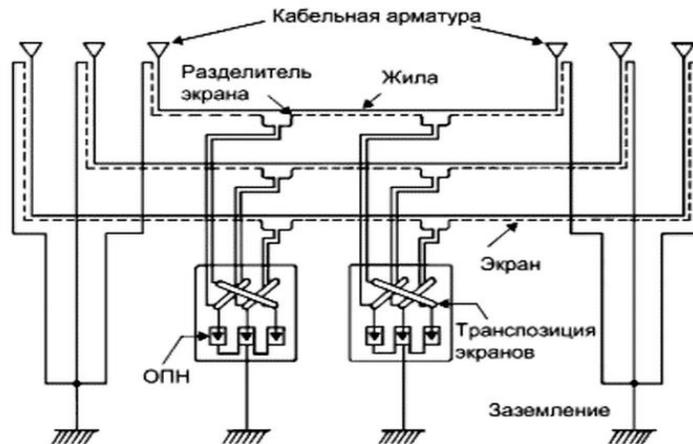
- при увеличении расстояния между кабелями;
- при увеличении сечения экрана.

Уменьшение и исключение потерь в экранах кабелей

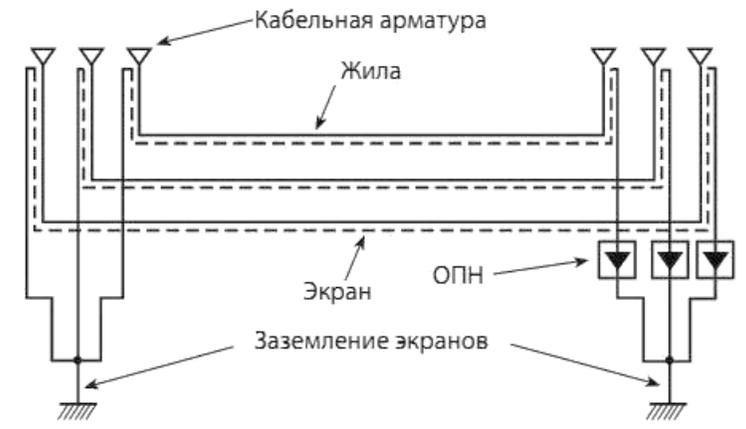
КЛ без применения транспозиции экранов. Заземление экранов кабелей с двух сторон

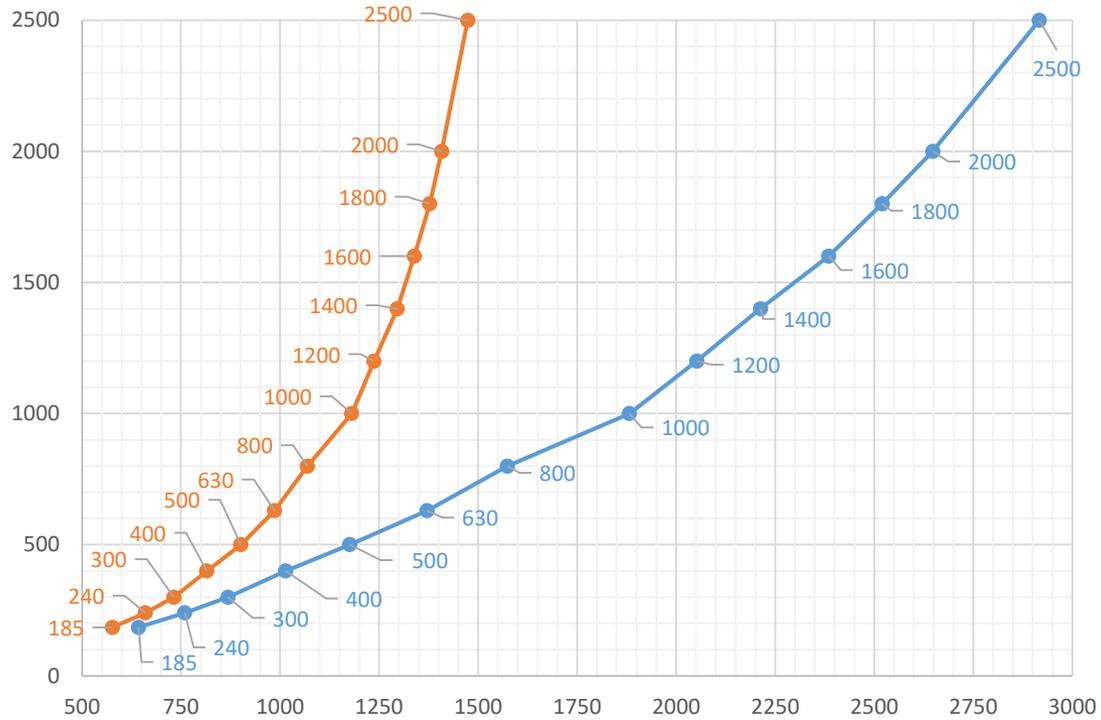


КЛ с применением транспозиции экранов



КЛ с применением одностороннего заземления



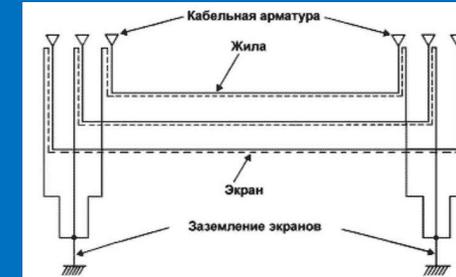


Зависимость токовой нагрузки от сечения жилы для кабелей проложенных плоскостью

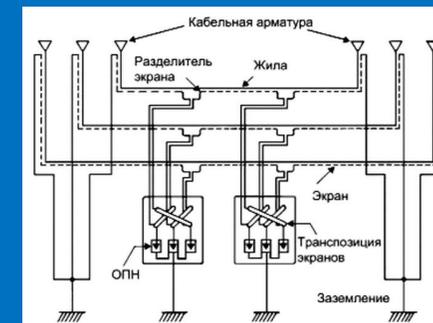
Видно, что использование транспозиции экранов кабелей позволяет значительно увеличить пропускную способность КЛ

Например для кабеля 110 кВ с сечением ТПЖ 2500 кв.мм разница пропускной способности достигает 1400 А.

1 - КЛ без применения транспозиции экранов



2 - КЛ с применением транспозиции экранов или с заземлением экранов с одной стороны

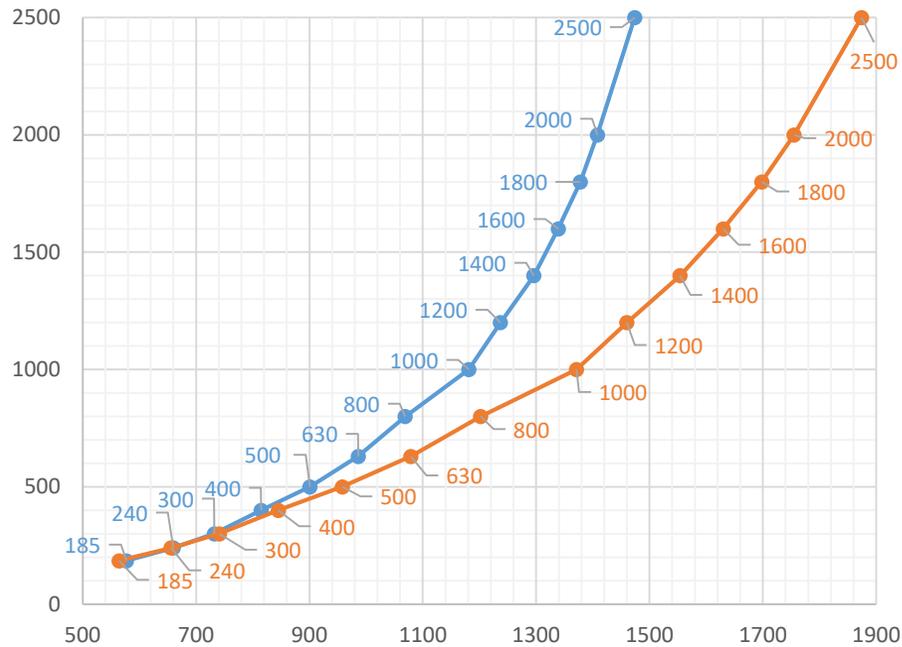


Улучшение условий теплоотвода от кабеля

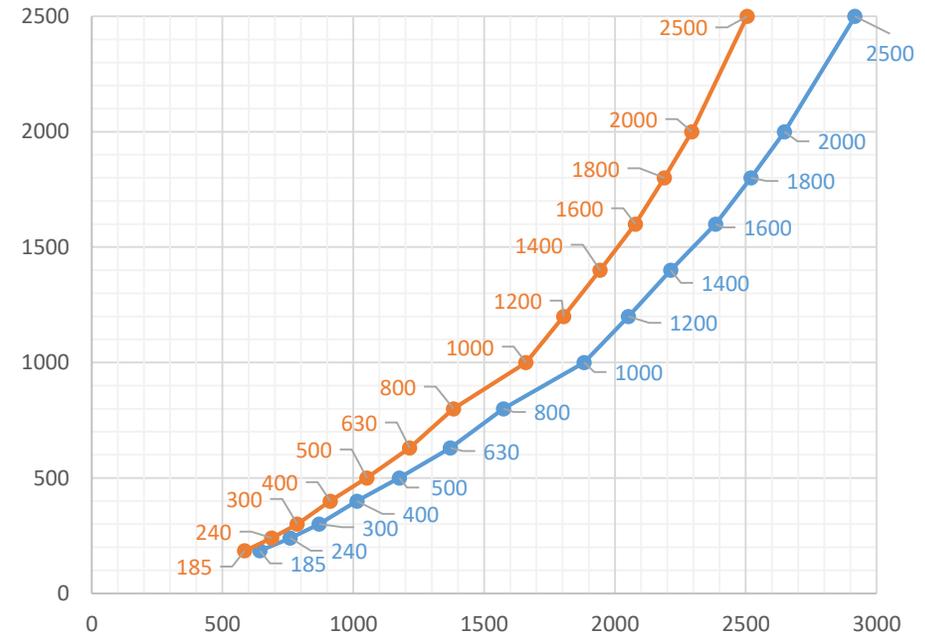
Рациональное
расположение фаз

Выбор условий
прокладки

Рациональное расположение фаз



Заземление экрана с двух сторон



Заземление экрана с одной стороны (или с транспозицией)

1 - Прокладка плоскостью



2 - Прокладка сомкнутым треугольником

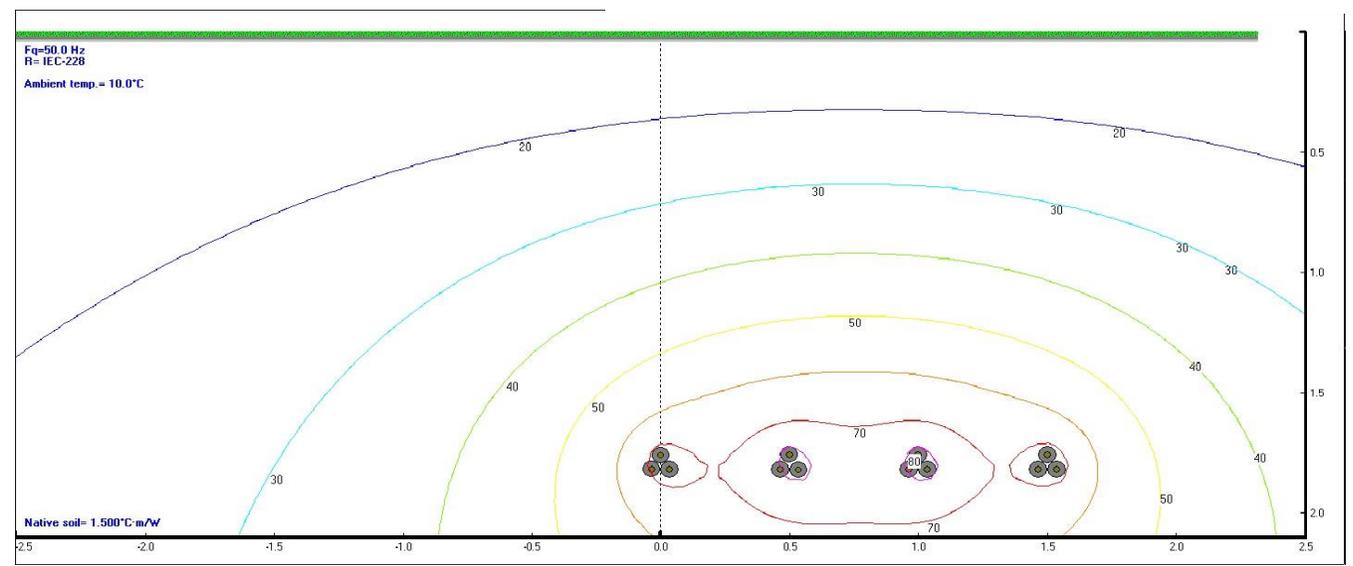
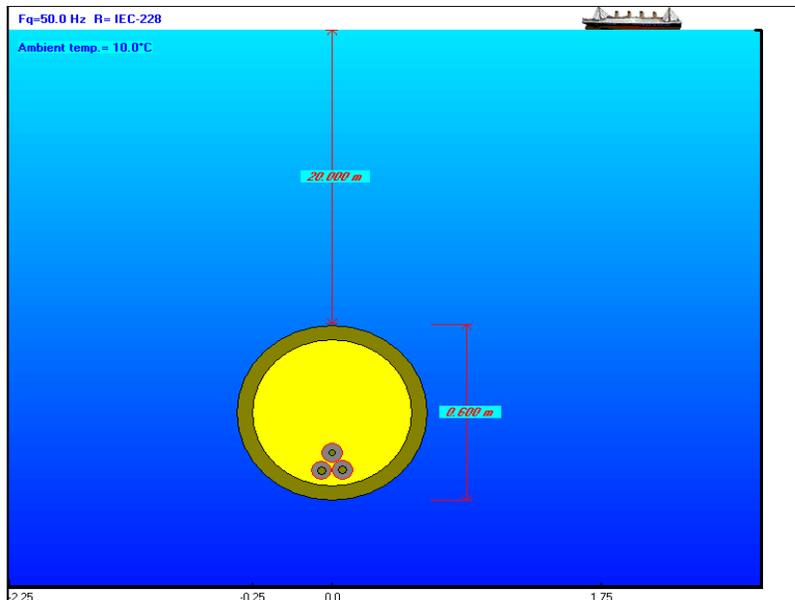
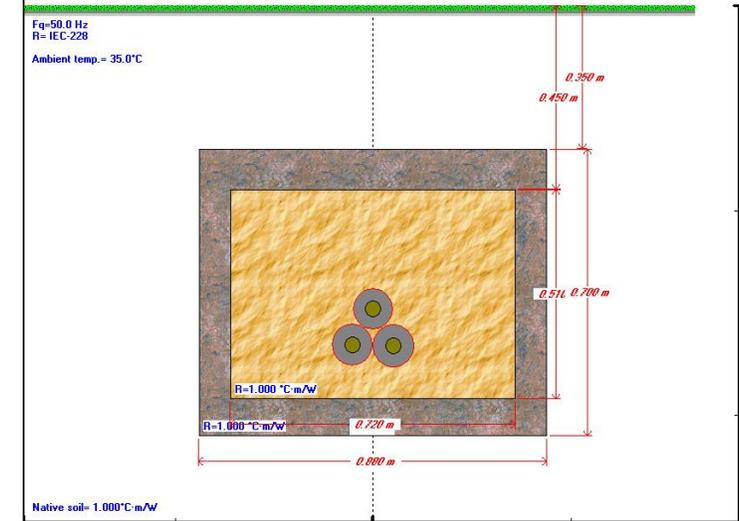
В случае заземления экранов кабелей с двух сторон расположение фаз плоскостью приводит к снижению пропускной способности КЛ, т.к. фактор потерь в экране преобладает над взаимным нагревом.

Однако если потери в экране кабеля исключить, то пропускная способность КЛ с расположением фаз плоскостью выше, т.к. в этом случае присутствует только фактор взаимного нагрева.

Для проведения расчётов эксплуатационных характеристик КЛ используется программное обеспечение CYMCAP (Канада).

Преимущества CYMCAP :

- Расчет в соответствии с международными стандартами и методами конечных элементов;
- Расчеты без использования поправочных коэффициентов;
- Высокая точность расчетов подкрепленная множеством натуральных экспериментов;
- Возможность расчета самых сложных задач



Одним из главных преимуществ программного обеспечения СУМСАР является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

В качестве примера сравнения расчетов с помощью коэффициентов и СУМСАР приведем расчет кабеля марки **АПвПу2гж 1x185/95 – 64/110 кВ**

ДДТ кабеля с учетом условия прокладки определяется по известной формуле:

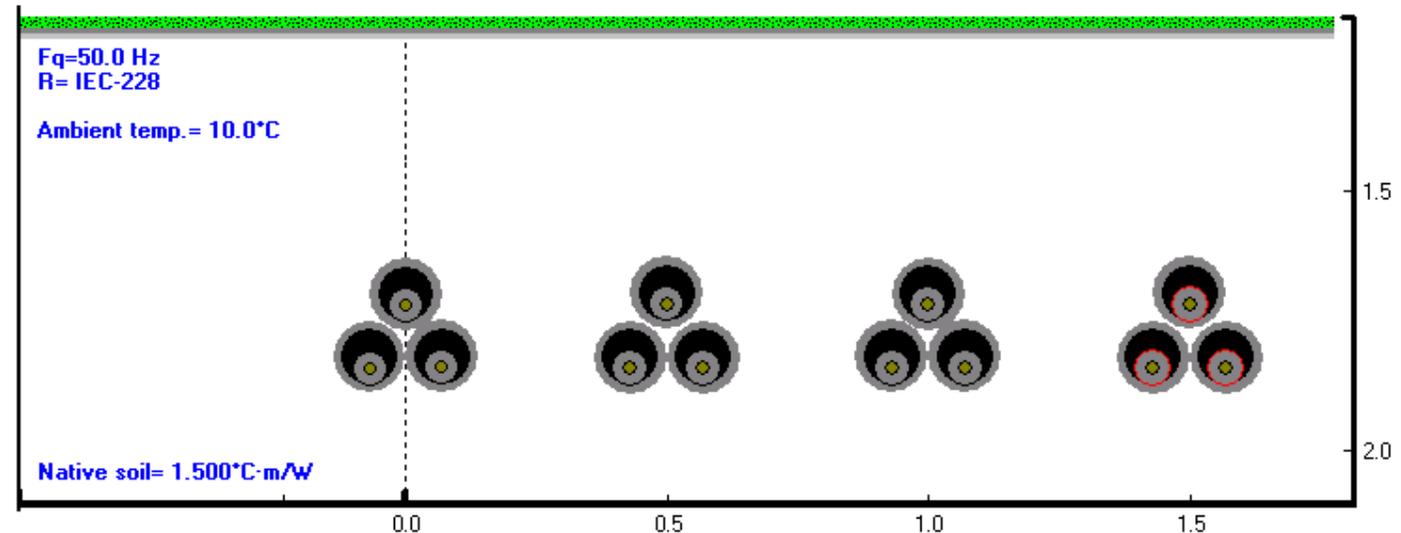
$$I_{\text{adm}} = I_1 \times k_1 \times k_2 \times k_n \dots$$

Длительно допустимая токовая нагрузка данного кабеля согласно каталожных значений – 341 А

Применив нижеуказанные коэффициенты получим:

$$I_{\text{adm}} = 341 \times 1,03 \times 0,93 \times 0,98 \times 0,72 \times 0,9 = 207 \text{ A}$$

Поправочный коэффициент на темпер. окр. среды 10°C	1,03
Поправочный коэффициент на удельное термическое сопротивление грунта при =1,5 К*м/Вт	0,93
Поправочный коэффициент на глубину прокладки 1,8 м	0,98
Поправочный коэффициент на групповую прокладку 4х кабелей в цепи в земле (500 мм)	0,72
Поправочный коэффициент на прокладку кабелей в отдельных трубах	0,9

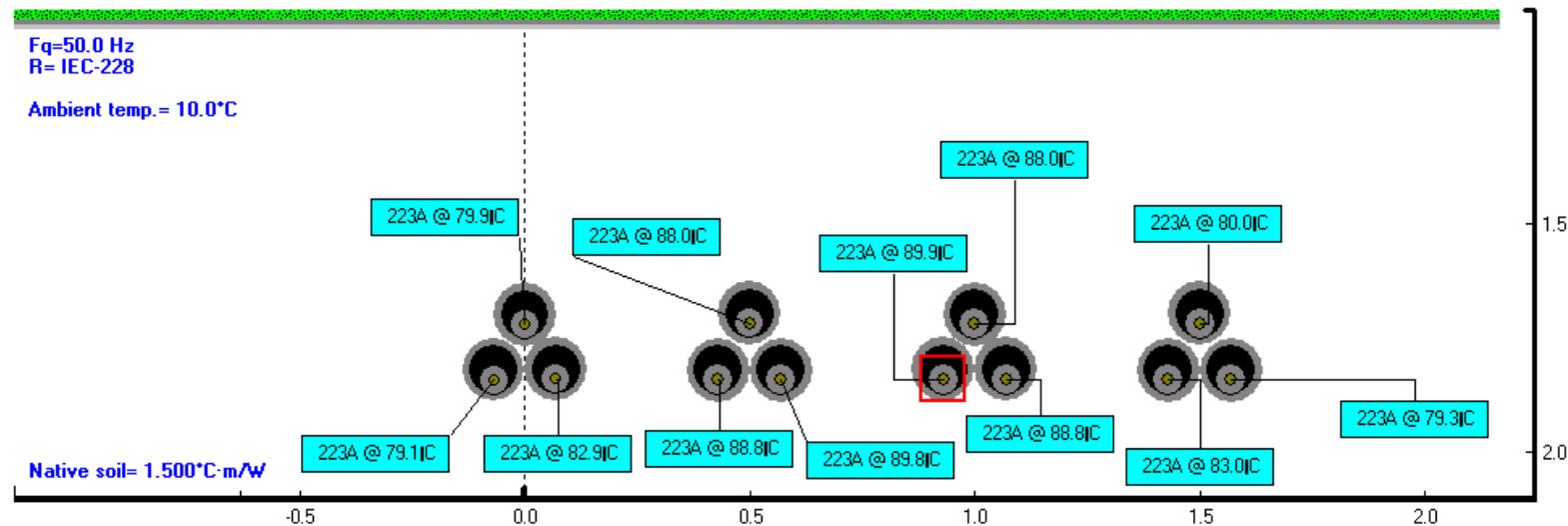
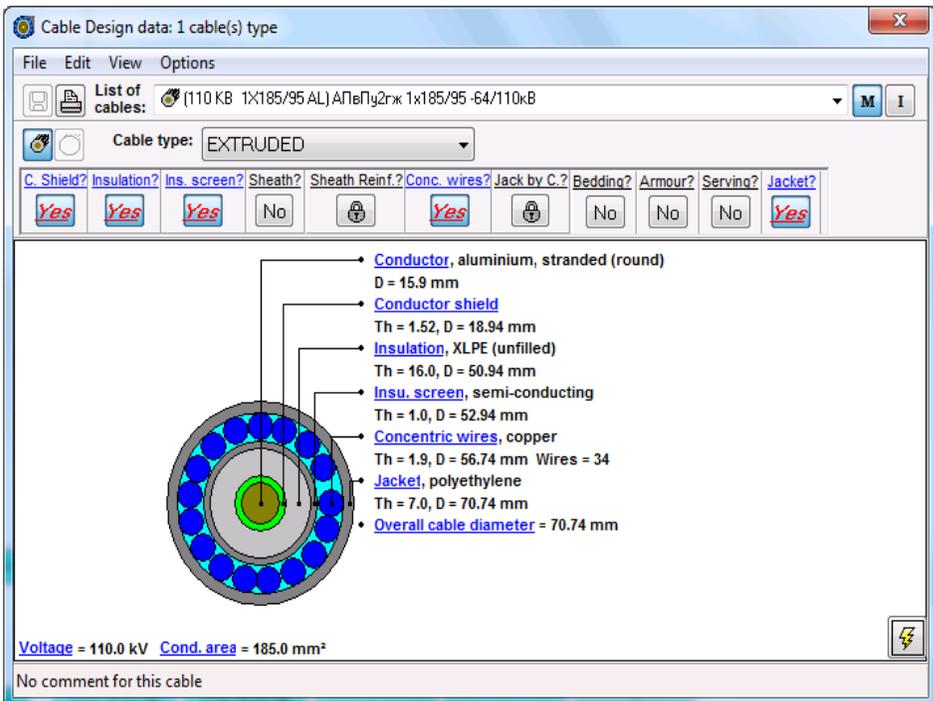


Одним из главных преимуществ программного обеспечения СУМСАР является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

Проведем моделирование условий прокладки того же кабеля в СУМСАР. При одинаковых условиях пропускная способность кабеля, посчитанная в СУМСАР **выше на 10 %**

Ток АПвПу2гж 1x185/95 – 64/110 кВ по коэффициентам – **207 А**

Ток АПвПу2гж 1x185/95 – 64/110 кВ по СУМСАР – **223 А**



Одним из главных преимуществ программного обеспечения СУМСАР является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

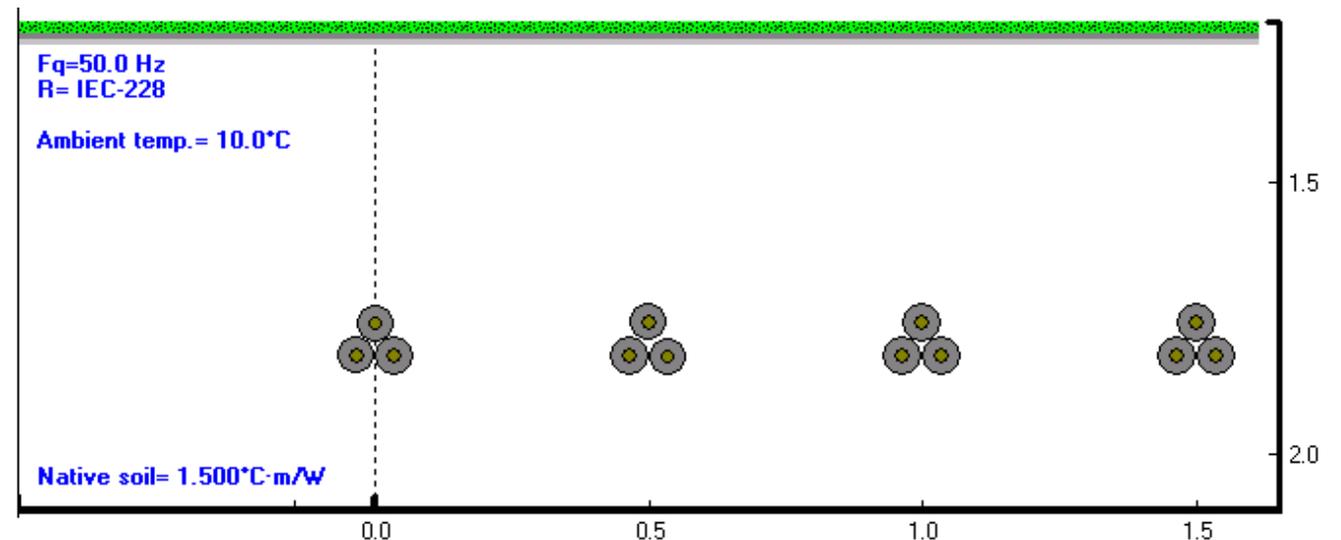
Общеизвестно, что в случае перегрева изоляции кабеля сверх допустимых значений происходит её ускоренное. Работа кабеля под длительным воздействием сверхнормативных температур может привести к выходу из строя кабельной линии.

Таким образом приближенный расчет пропускной способности кабельной линии, по каталожным коэффициентам может привести к серьезным проблемам при эксплуатации линии.

Используем в качестве примера ранее приведенный расчет кабеля АПвПу2гж 1x185/95 – 64/110 кВ с одним лишь изменением – уберем из условий полиэтиленовые трубы.

$$I_{adm} = 341 \times 1,03 \times 0,93 \times 0,98 \times 0,72 = 230 \text{ A}$$

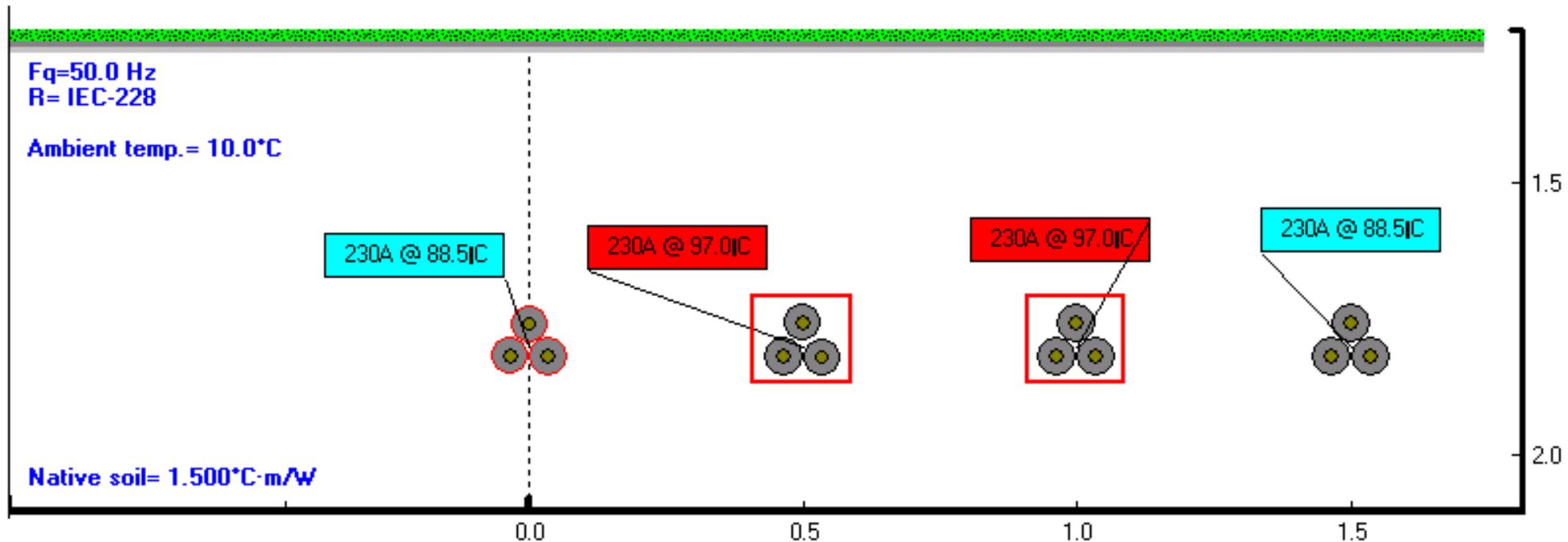
Поправочный коэффициент на темпер. окр. среды 10°C	1,03
Поправочный коэффициент на удельное термическое сопротивление грунта при =1,5 К*м/Вт	0,93
Поправочный коэффициент на глубину прокладки 1,8 м	0,98
Поправочный коэффициент на групповую прокладку четырех кабелей в цепи в земле (500 мм)	0,72



Одним из главных преимуществ программного обеспечения SYMCAP является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

Таким образом, расчет по поправочным коэффициентам определил пропускную способность кабельной линии 230 А, которая будет передана эксплуатирующей организации как максимально возможная.

Смоделируем данные условия в SYMCAP, но задачу поставим от обратного – зададим посчитанную пропускную способность кабельной линии по коэффициентам 230 А и определим температуру нагрева токопроводящей жилы кабеля.



Одним из главных преимуществ программного обеспечения СУМСАР является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

При проектировании кабелей в трубах в соответствии с каталожными данными заводов производителей принято использовать поправочный коэффициент 0,9. Однако данный коэффициент является приближенным и не дает точных данных.

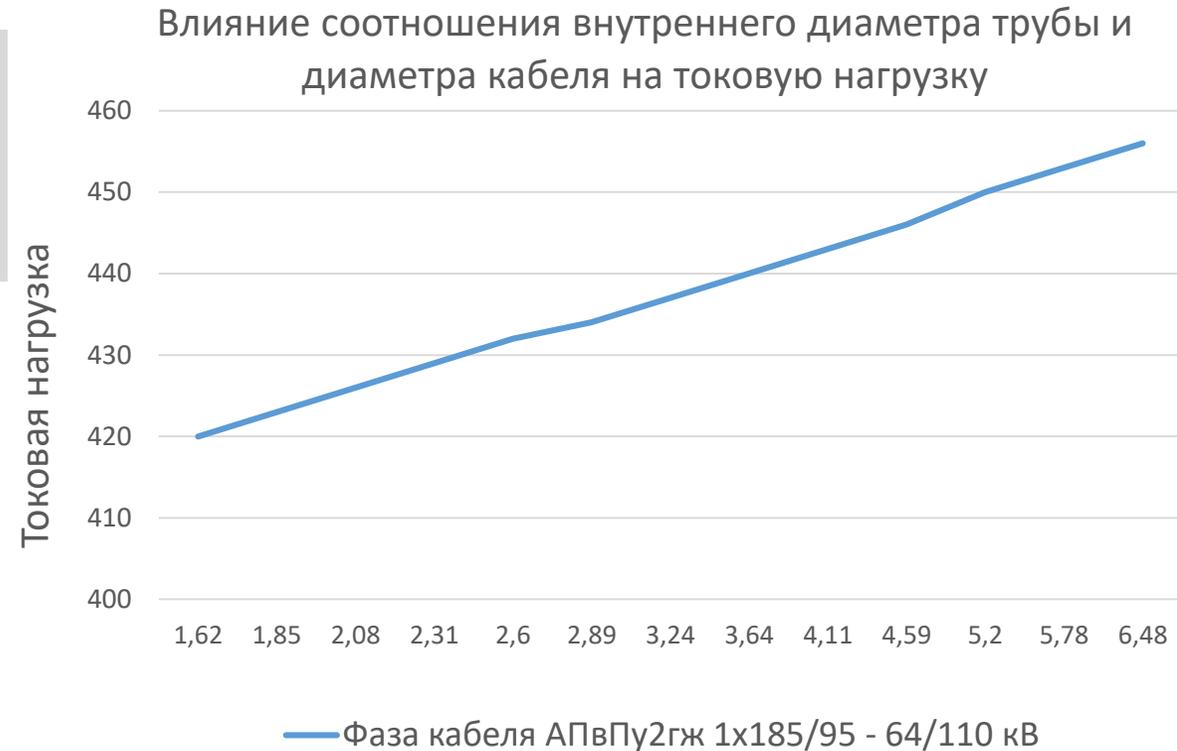
В качестве примера для сравнения выполним в СУМСАР расчет фазы кабеля АПвПу2гж 1x185/95 – 64/110 кВ, проложенной в земле без труб. В данном случае токовая нагрузка составляет 447 А.

Проведем расчеты кабеля в трубах, применив поправочный коэффициент 0,9 и получим значение токовой нагрузки 402 А.

$$I_{adm} = 447 \times 0,9 = 402 \text{ А}$$

При расчетах токовой нагрузки фазы в СУМСАР, была выявлена зависимость от диаметра труб на величину токовой нагрузки.

Эффект роста допустимого тока связан с тем, что при больших диаметрах труб они получают значительную площадь контакта с грунтом и хорошо охлаждаются.



Одним из главных преимуществ программного обеспечения СУМСАР является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

Одним из важнейших параметров современной кабельной линии является её перегрузочная способность. Принцип расчета токов перегрузки устанавливается МЭК 60853 ч.1,ч.2. Проведение расчетов согласно данного стандарта является ресурсоемкой задачей, требующей специальных математических квалификаций.

В связи с этим, при проектировании кабельных линий перегрузочную способность определяют на основании поправочных коэффициентов (1,17 и 1,2)

$$I_{пер} = I_{доп} \sqrt{\frac{(1 + \alpha t_{доп}) - m^2 (1 + \alpha t_{нагч}) e^{-\frac{x}{T}}}{(1 + \alpha t_{пер}) \left(1 - e^{-\frac{x}{T}}\right)}}, a.$$

Например: применяя коэффициент 1,2 к длительно допустимому току 207 А кабеля марки АПвПу2гж 1х185/95 – 64/110 кВ получаем значение тока перегрузки **248 А**.

$$I_{адм} = I_{ддм} \times k_n$$

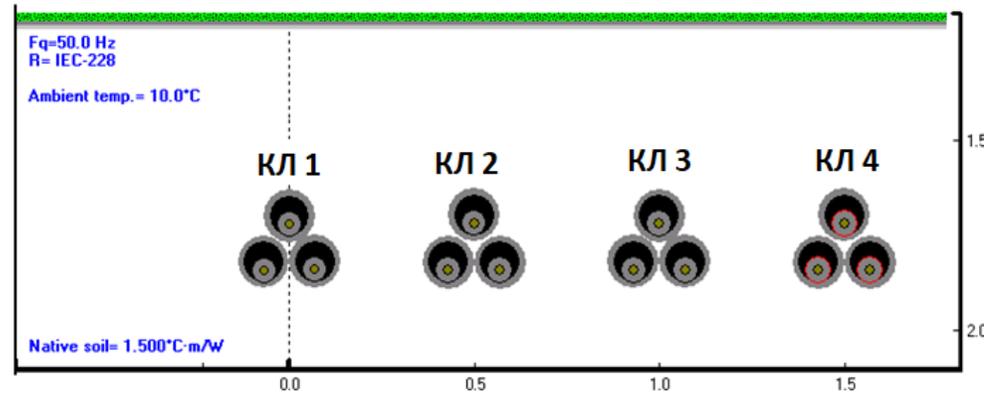
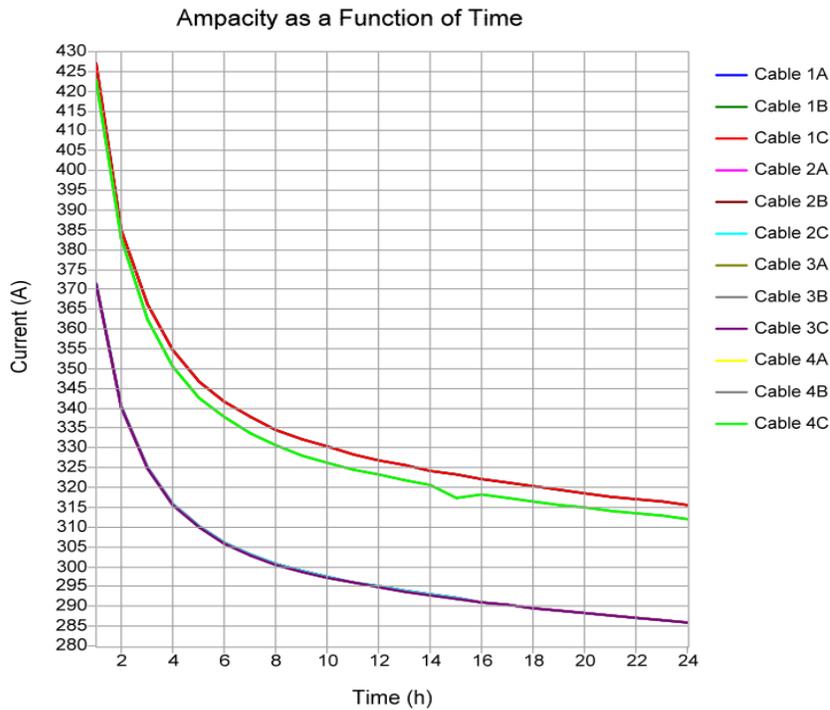
$$I_{адм} = 207 \times 1,2 = 248 \text{ А}$$

Такой расчет дает лишь приближенное значение перегрузочной способности кабельной линии и не рекомендуется к использованию при эксплуатации линии.

Оказание помощи в проектировании кабельных линий

Одним из главных преимуществ программного обеспечения СУМСАР является расчеты пропускной способности повышенной точности. Зачастую проектные организации проводят упрощенный расчет пропускной способности кабельных линий, который является приблизительным.

Вместе с тем, для максимально эффективной эксплуатации высоковольтной кабельной линии требуется проводить расчеты перегрузочной способности в зависимости от временных промежутков. Данные расчеты могут быть выполнены специалистами Завода ТАТКАБЕЛЬ и предоставлены проектной и эксплуатирующей организации



Время перегрузки, ч	Ток перегрузки, А			
	КЛ 1	КЛ 2	КЛ 3	КЛ 4
1	427	372	371	423
2	385	340	340	383
4	354	316	316	351
8	335	301	301	331
12	327	295	295	323
24	316	286	286	312

Аварийная допустимая токовая нагрузка кабеля согласно каталожных значений - 248 А.

При этом токовая нагрузка кабеля в режиме перегрузки длительностью не более 8 часов по СУМСАР с учетом влияния соседних цепей составляет 301 А.

Данные расчеты позволяют смоделировать аварийные ситуации, связанные с временным отключением параллельных кабельных линий на ремонт или по причине аварий.

ФОНД СЕРВИС приглашает к партнерству!

ПАСЫНКОВ Дмитрий Петрович

Директор департамента по управлению проектами

@ d.pasynkov@fond-service.ru

☎ +7 (495) 120-28-77 вн. 100

СТЕЛЬМАХОВ Дмитрий Борисович

Коммерческий директор по кабельно-проводниковому направлению

@ d.stelmakhov@fond-service.ru

☎ +7 (495) 120-28-77 вн. 534

Республика ТАТАРСТАН

с. Столбище, ул. Лесхозовская, д. 32

☎ +7 (495) 120-28-77

Продукция, сервис и технологические решения предприятий

Завод ТАТКАБЕЛЬ

Завод Инвэнт Электро