

8. Внутренняя изоляция

8.1. Общие сведения

Особенности внутренней изоляции

- Необратимые последствия пробоя внутренней изоляции
- Большие запасы электрической прочности, чем у внешней изоляции
- Независимость электрической прочности изоляции от атмосферных условий
- Снижение электрической прочности из-за старения изоляции
- Зависимость пробивного напряжения от времени воздействия напряжения
- Невозможность определения фактической электрической прочности конкретной изоляционной конструкции (проверка приложением испытательных напряжений)
- Оценка пригодности изоляции по косвенным показателям (измерение $\text{tg}\delta$, интенсивности ЧР, сопротивления и емкости изоляции)
- Использование комбинаций из нескольких диэлектриков

Требования к внутренней изоляции

- **Высокая кратковременная и длительная электрическая прочность**
- **Стойкость к воздействию частичных разрядов**
- **Малые диэлектрические потери и проводимость**
- **Высокая теплопроводность или теплоемкость**
- **Достаточная механическая прочность**
- **Нетоксичность и негорючесть диэлектриков**
- **Взрывобезопасность диэлектриков**

Зависимость электрической прочности внутренней изоляции от времени

- I область ($t < 10$ мкс)
- II область ($t = 10^{-5} - 10^{-2}$ с)
- III область ($t = 10^{-2}$ с – 1 мин)
- IV область ($t = 1$ мин – 10 час)
- V область ($t > 10$ час)

Классификация прочности внутренней изоляции по времени воздействия напряжения

Электрическая прочность внутренней изоляции

Длительная (при
рабочем напряжении)
(V область)

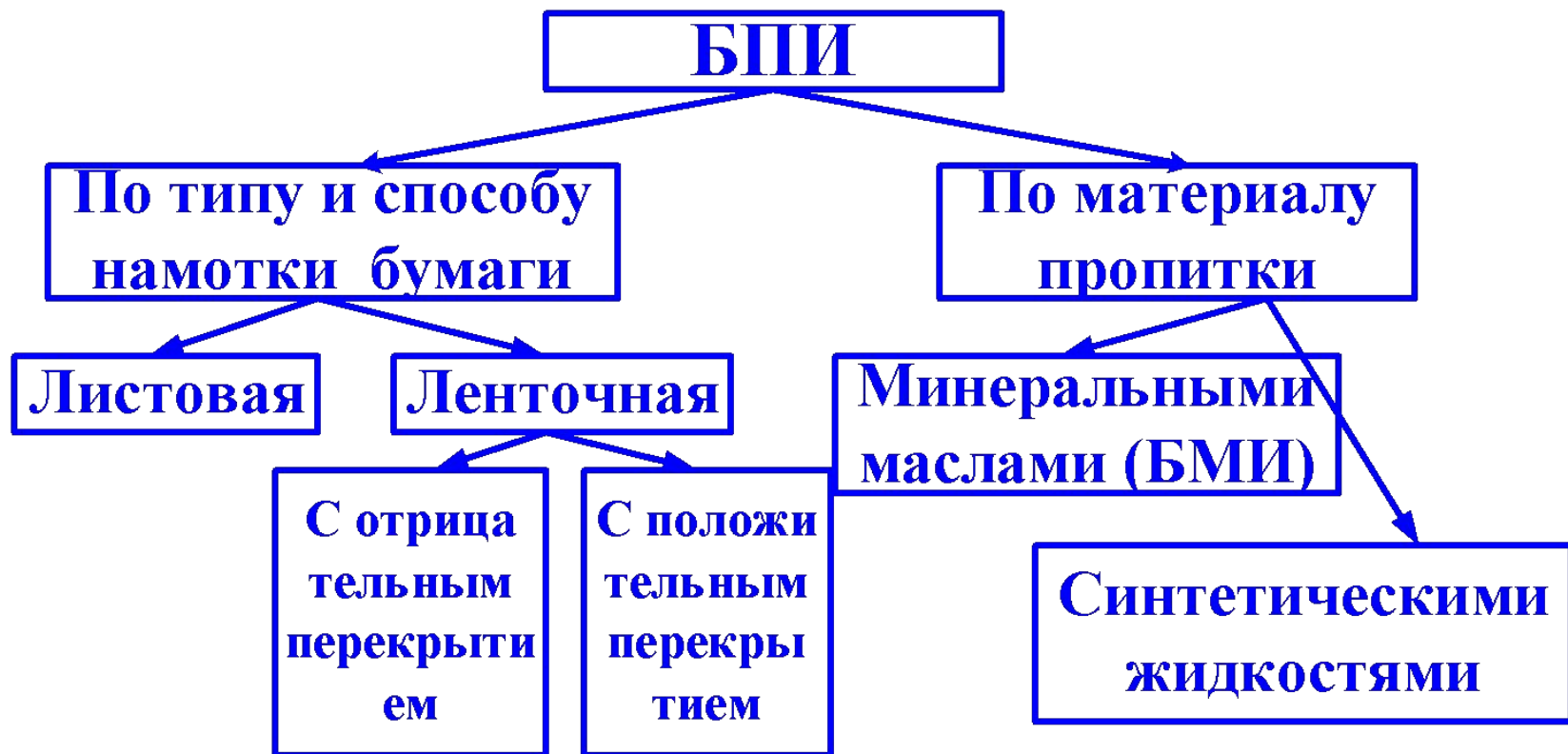
Кратковременная
(при перенапряжениях)

грозовых (мкс)
(I область)

внутренних (мс, с)
(II, III, IV области)

8.2. Основные виды внутренней ИЗОЛЯЦИИ

8.2.1. Бумажно-пропитанная изоляция (БПИ)

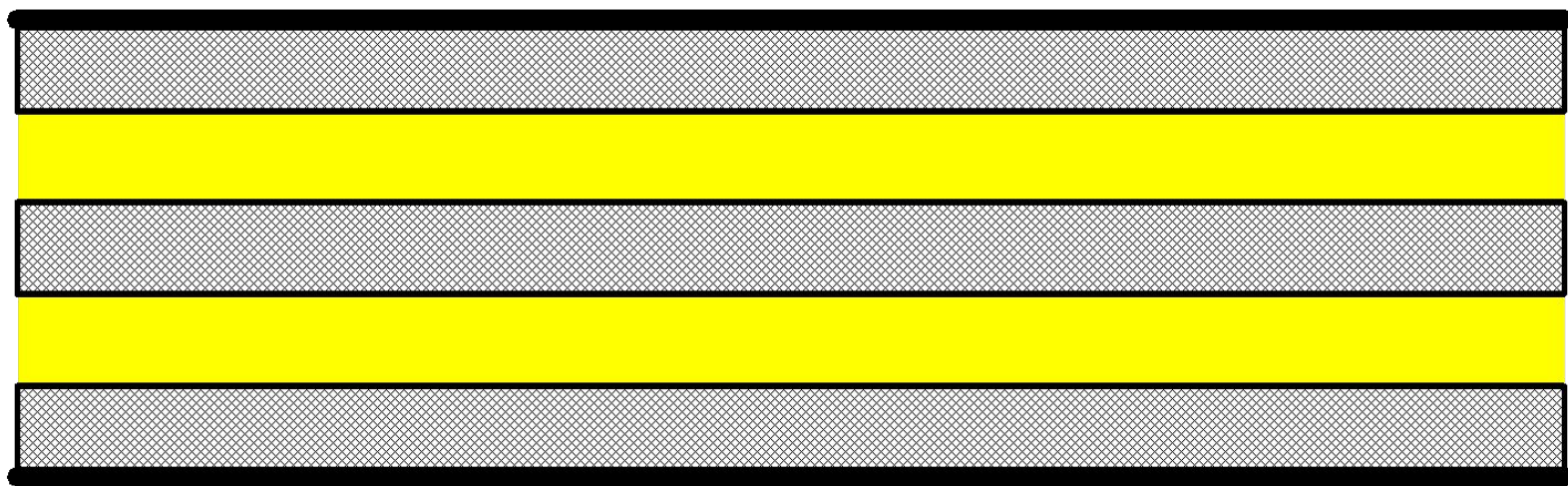


Тип и толщина бумаги БПИ

- **Конденсаторная (6-30 мкм)**
- **Кабельная (14 - 120 мкм)**

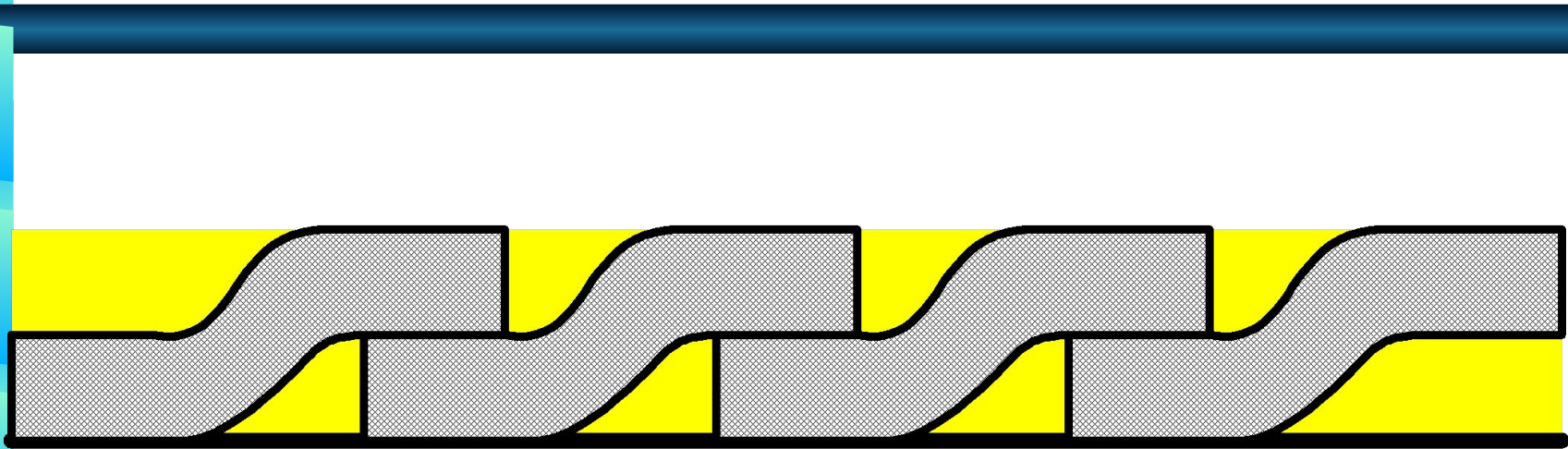
Листовая бумажно-пропитанная ИЗОЛЯЦИЯ

Электрод № 2

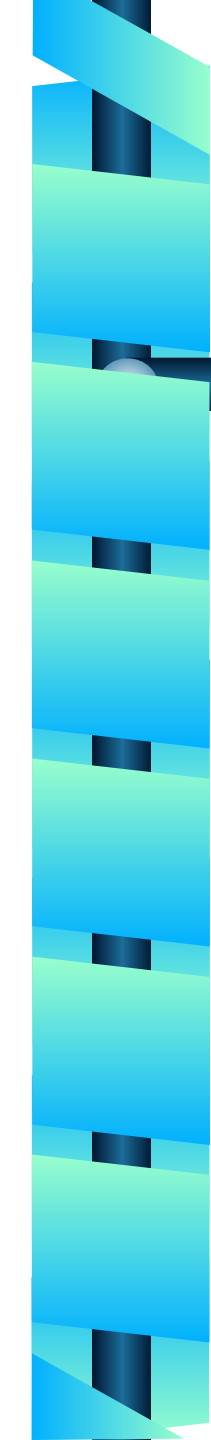


Электрод № 1

Ленточная бумажно-пропитанная изоляция с положительным перекрытием (внахлест)



Электрод



Способ намотки ленточной изоляции с отрицательным перекрытием

- Ширина лент 10-35 мм**
- Ширина зазора 1,5-3,5 мм**
- Каждый последующий слой
накладывается со сдвигом $1/3$
ширины ленты**

8.2.2. Маслонаполненная изоляция

В качестве основного диэлектрика выступает минеральное масло, которое может циркулировать в замкнутом объеме, выполняя функции изоляции и охлаждения.

8.2.3. Литая изоляция на основе ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

После просушки в вакууме твердая бумажная изоляция заливается ЭПОКСИДНЫМ КОМПАУНДОМ и отверждается при помощи соединений с активным атомом водорода (отвердителей).

8.2.4. Изоляция на основе слюды

В качестве основы служит лента из бумаги или стеклоткани с мелкими частичками слюды (стеклослюденистые ленты). Такие ленты наматываются на токоведущие части, затем пропитываются специальными лаками под вакуумом

8.2.5. Песочно-масляная изоляция

Основным изоляционным материалом является измельченный просушенный электротехнический песок, который пропитывается просушенным минеральным маслом. Изоляция заполняет пространство в корпусе изоляционных конструкций высоковольтных аппаратов.

8.2.6. Элегазовая изоляция

Электрическая прочность элегаза приблизительно в 2,5 раза выше, чем у воздуха при тех же условиях.

Дугогасительная способность элегаза приблизительно в 4 раза выше, чем при воздушном дутье при тех же условиях.

8.2.7. Полимерная изоляция

- На основе термопластичного полиэтилена;
- На основе сшитого полиэтилена.

8.2.8. Вакуумная изоляция

Вакуум применяется в основном в качестве продольной изоляции коммутационных аппаратов средних классов напряжения.

8.2.9. Твердая RIP–изоляция

RIP (Resin Impregnated Paper).

Преимущества RIP- изоляции:

- низкие диэлектрические потери,
- низкий уровень ч.р.,
- ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАВАТЬ КОМПАКТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПО ОТНОШЕНИЮ К ДРУГИМ ТИПАМ ИЗОЛЯЦИИ.

8.3. Внутренняя изоляция проходных изоляторов

Типы проходных изоляторов по назначению

- **станционные** – для изоляции шин при их проходе через стены зданий
- **аппаратные** – для ввода напряжения внутрь металлических баков оборудования

Классификация проходных изоляторов по типу внутренней изоляции



Элегазовые вводы

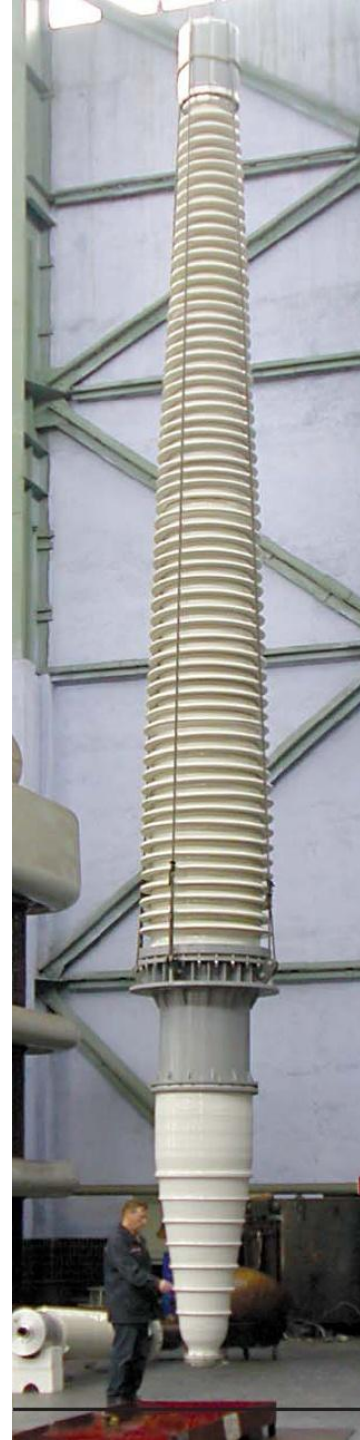




Вводы с бумажно- масляной изоляцией

Повреждение БМИ вводов







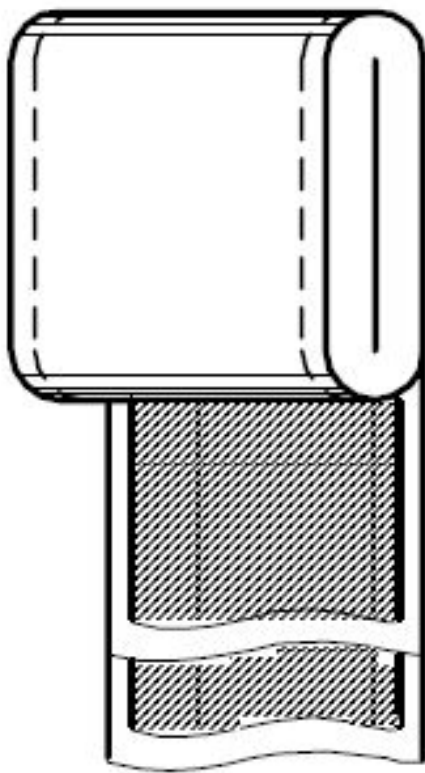
Вводы с твердой RIP-изоляцией



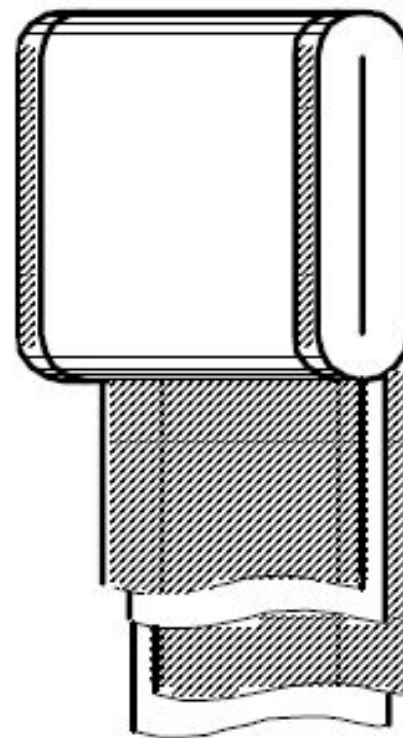
8.4. Изоляция силовых конденсаторов

- листовая бумажно-масляная;
- полимерная или лавсановая пленочная;
- комбинированная бумажно-пленочная.

Выполнение секций конденсаторов



Со скрытой фольгой



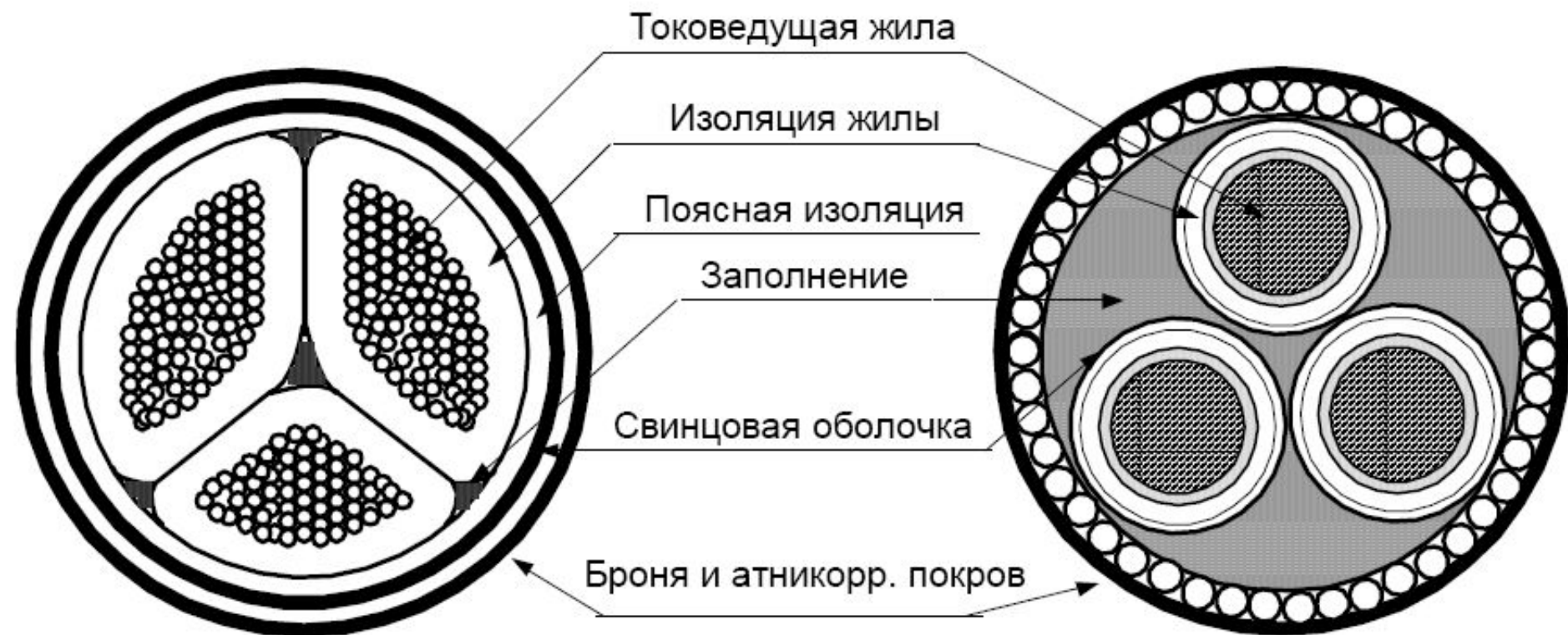
С выступающей фольгой

8.5. Изоляция силовых кабелей

8.5.1. Составные части кабелей высокого напряжения

- одна или несколько токопроводящих жил;
- изоляция;
- оболочка из алюминия или свинца для герметизации;
- броня из стальных лент или проволок для защиты от механических повреждений;
- покровы из лент кабельной бумаги или пряжи, пропитанные битумом, для защиты от коррозии;
- экраны для выравнивания напряженности в элементах конструкции.

8.5.2. Кабели с БПИ

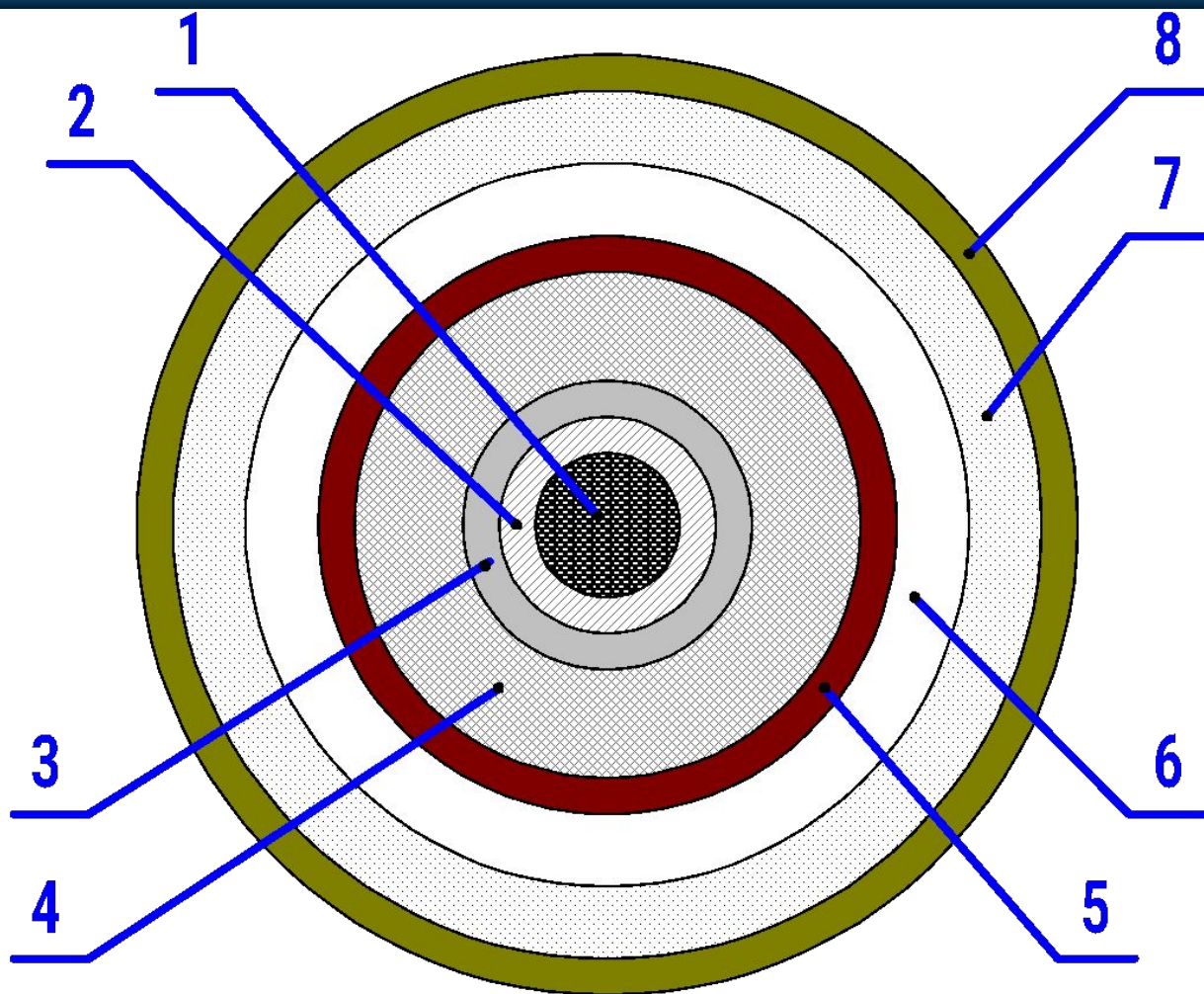




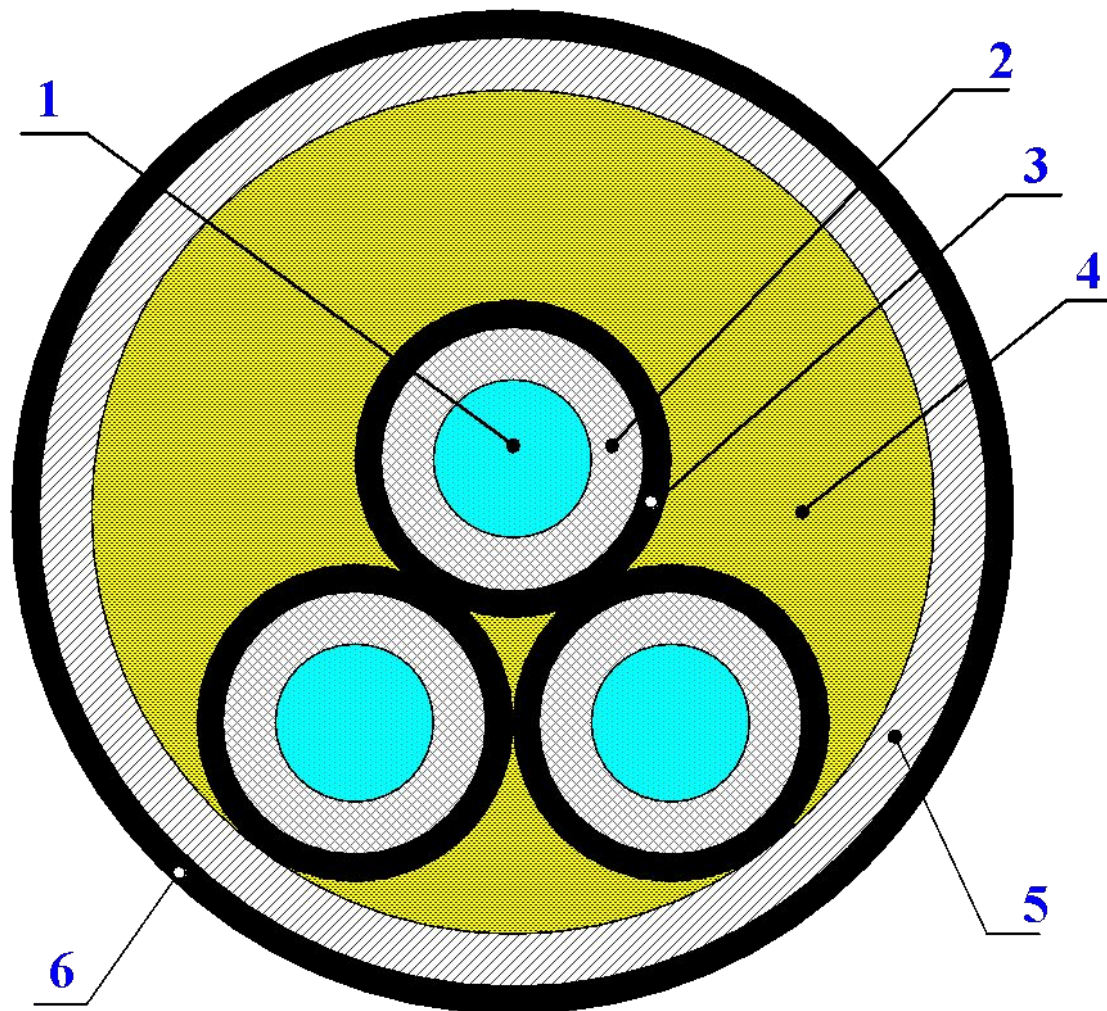
8.5.3. Маслонаполненные кабели

- Низкого давления (до 1 атм)
- Среднего давления (3...4 атм)
- Высокого давления (до 15 атм)

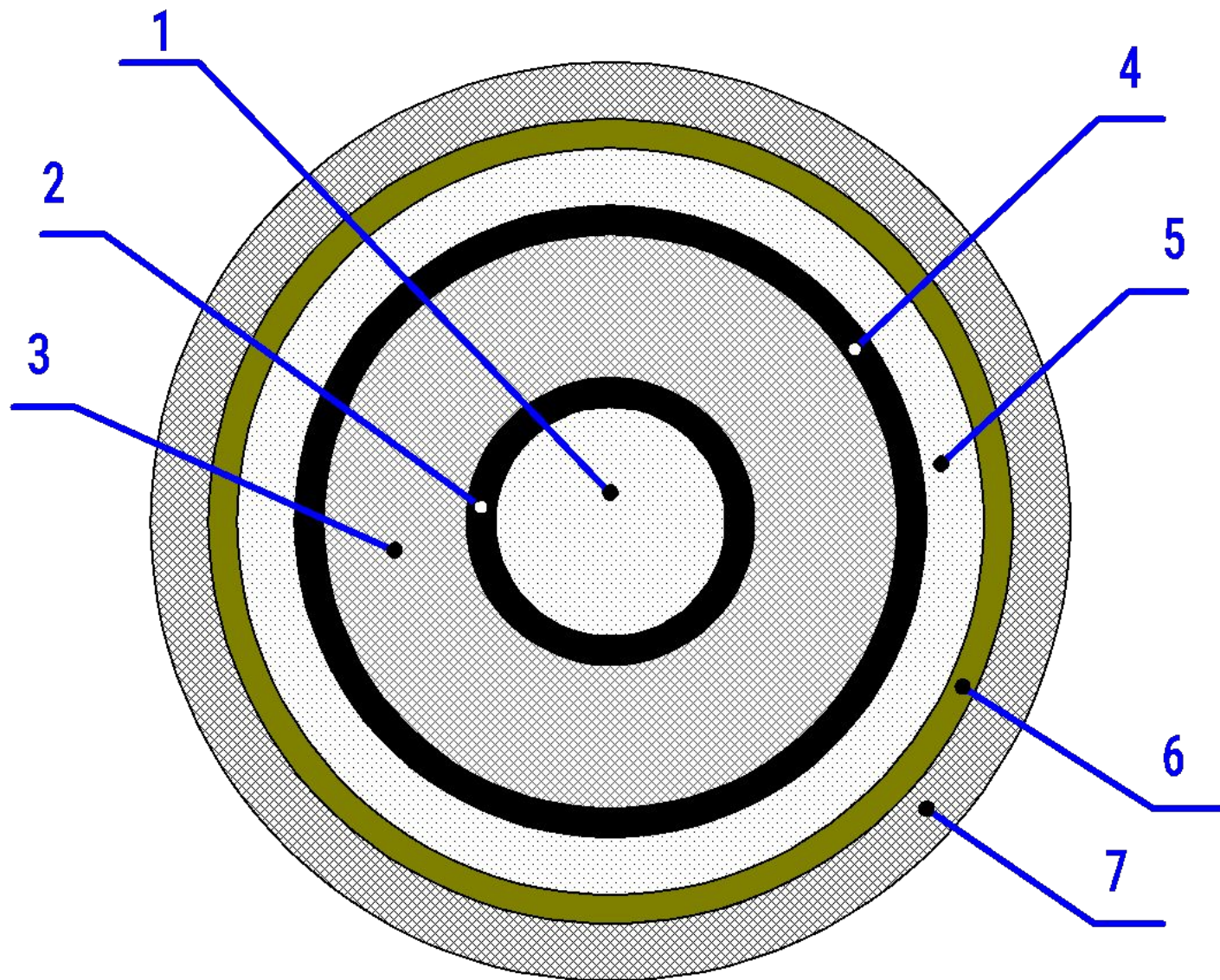
Маслонаполненный кабель среднего давления на напряжение 110 кВ



Маслонаполненный кабель высокого давления 220 кВ в стальной трубе



8 Кабели с полимерной изоляцией







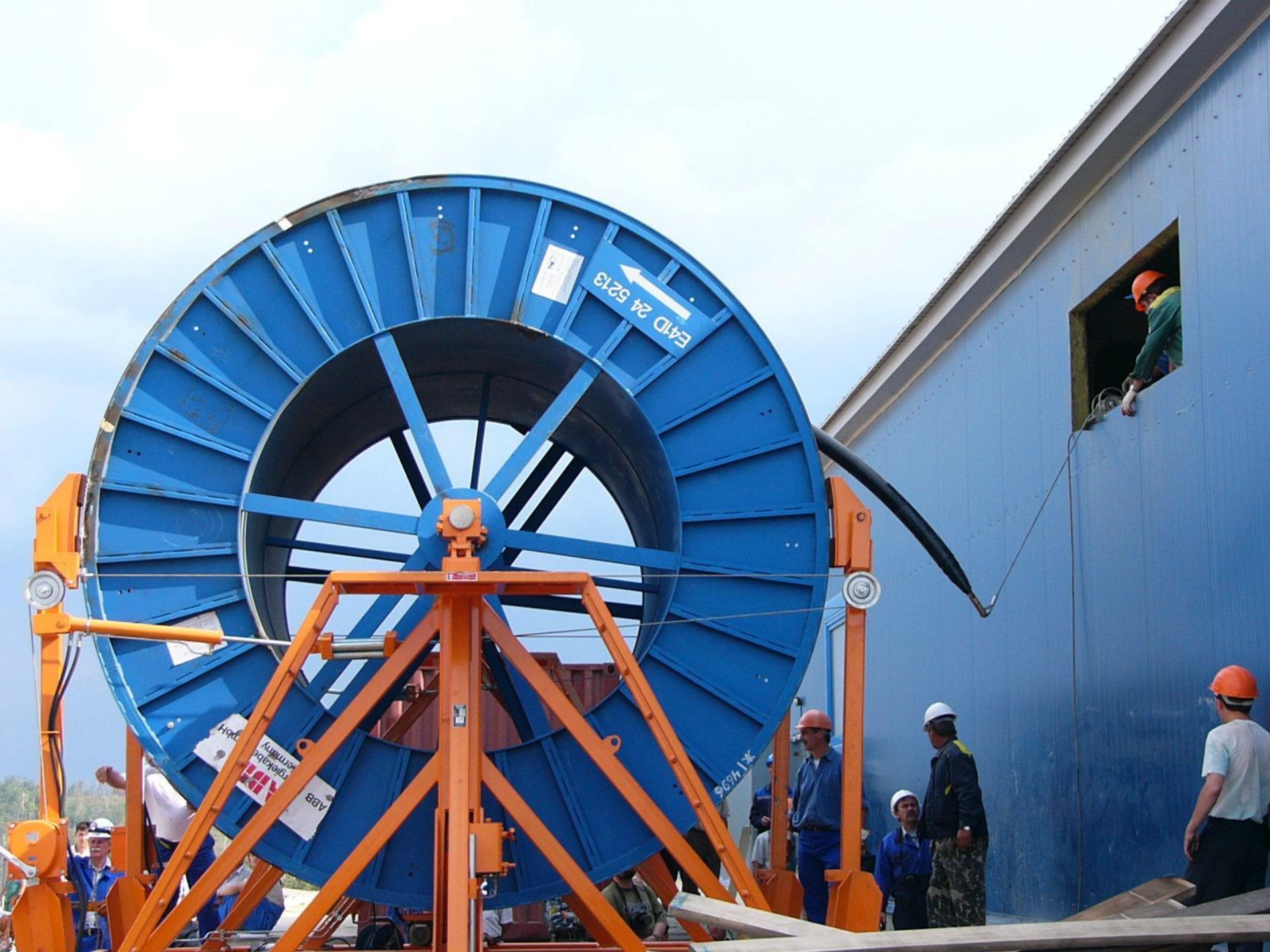
Основные преимущества КПИ

- прокладка на сложных трассах (в том числе на вертикальных);
- установка без использования специального оборудования ;
- снижение себестоимости прокладки.

Основные факторы деградации КПИ

- технологические дефекты (воздушные микрополости и инородные включения, выступы проводящих элементов в изоляцию, неоднородность структуры СПЭ);
- эксплуатационные факторы: механические напряжения, которые могут появляться в СПЭ-изоляции на стадии монтажа КПИ; электрические и водные триинги; термическое старение СПЭ-изоляции; воздействие импульсных перенапряжений с крутыми фронтами.





8.5.5. Газоизолированные линии

Страна	$I_{\text{ном}}$, кА	$U_{\text{ном}}$, кВ	Длина, м
Япония, 1971 г.	8	500	80
Япония, 1973 г.	4	275	100
Япония, 1979 г.	2	154	190
Япония, 1981 г.	4	275	250
Япония, 1984 г.	6.3	500	140
Япония, 1998 г.	6.3	275	3300
Германия, 1997 г.	3.2	400	400
Швейцария, 2000 г.	2	300	500

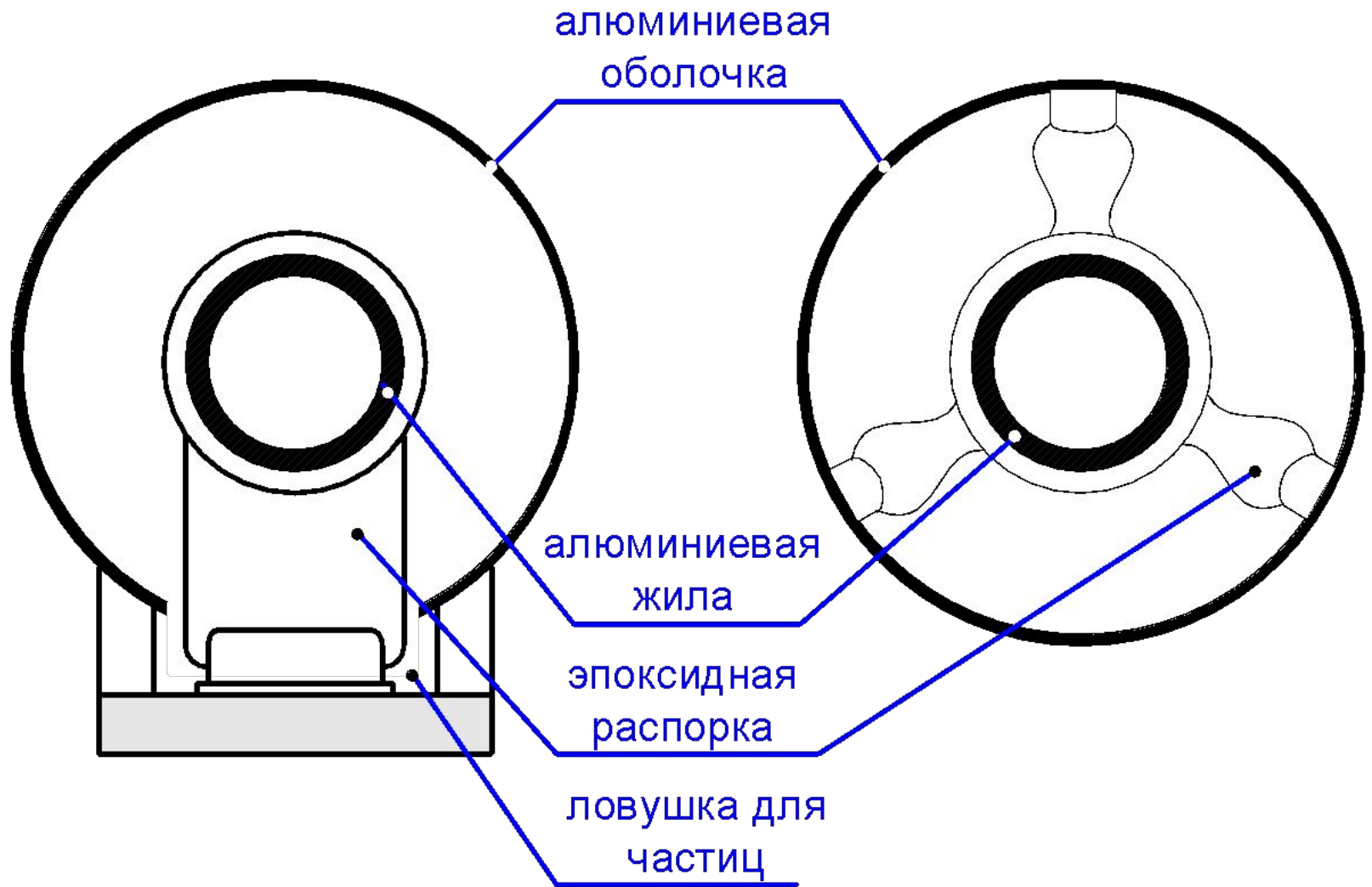
Основные затраты на сооружение ГИЛ по сравнению с ВЛ

Класс напряжения, кВ	110	220 – 330	более 330
Стоимость ВЛ, \$/км/МВА	820	390	255
Стоимость ГИЛ, \$/км/МВА	6100	4900	4700
Соотношение, о.е.	7	13	18

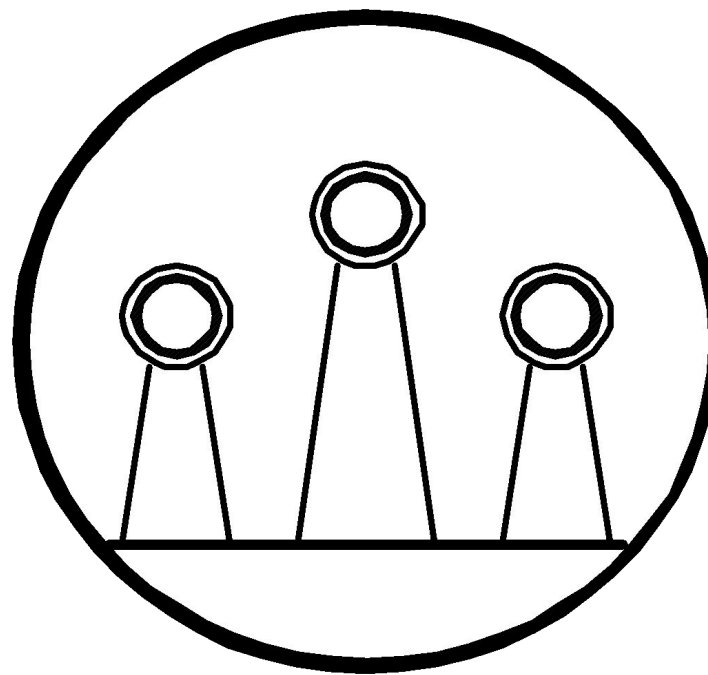
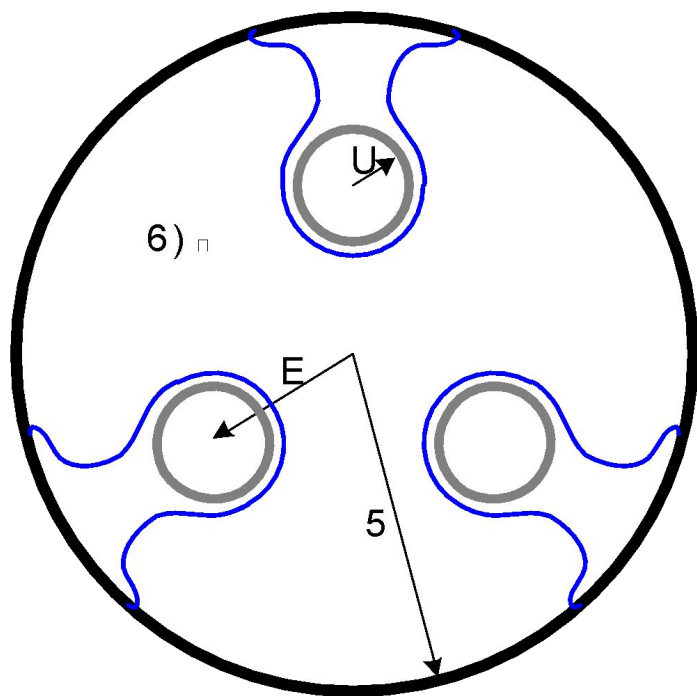
Область использования ГИЛ

- места пересечения нескольких ВЛ с целью отказа от более высоких опор;
- осуществление связи КРУЭ с ВЛ;
- ввода мощности в крупные города и промышленные центры;
- в местах, где использование МНК невозможно из-за большого перепада высот.

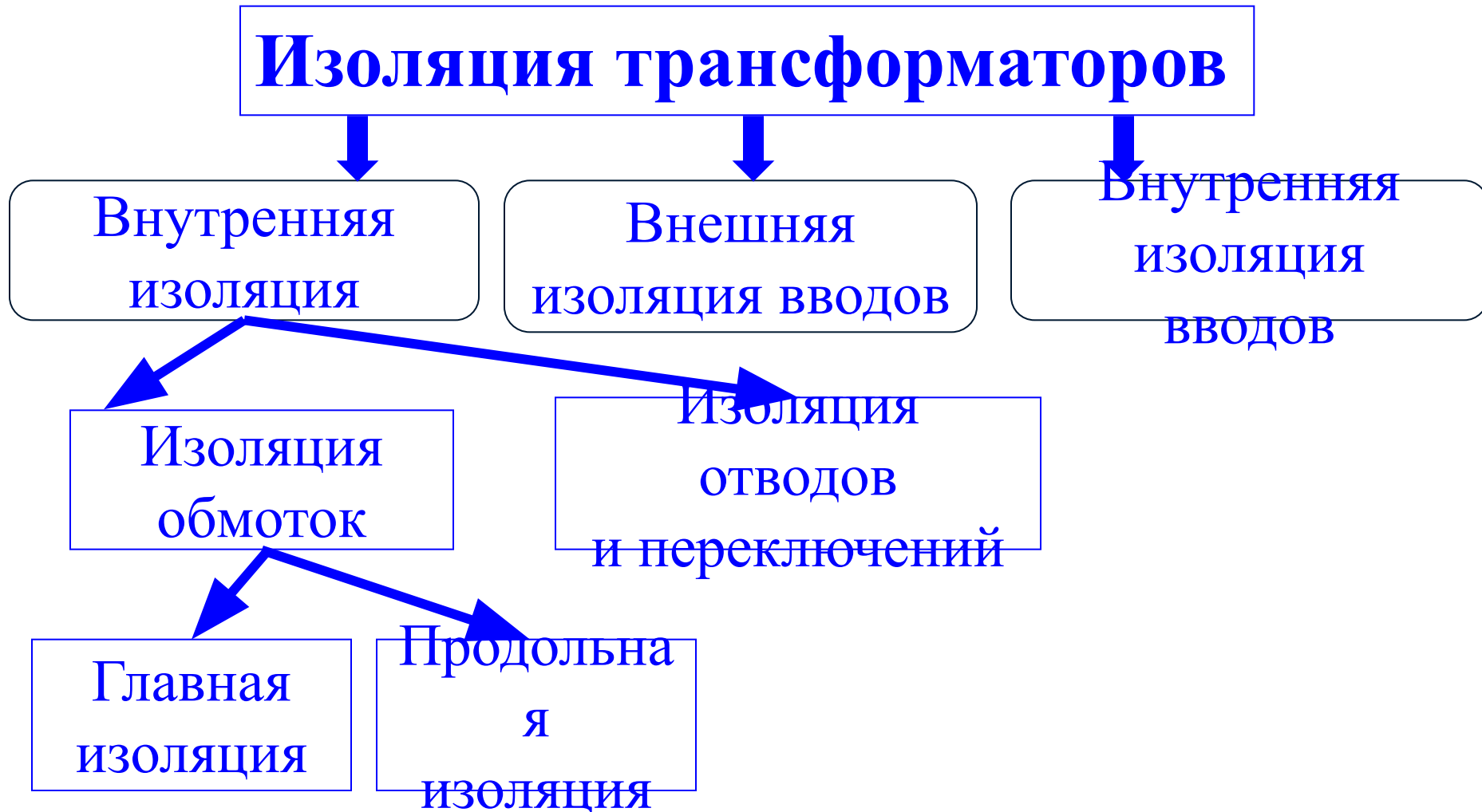
Конструкция ГИЛ однофазного исполнения



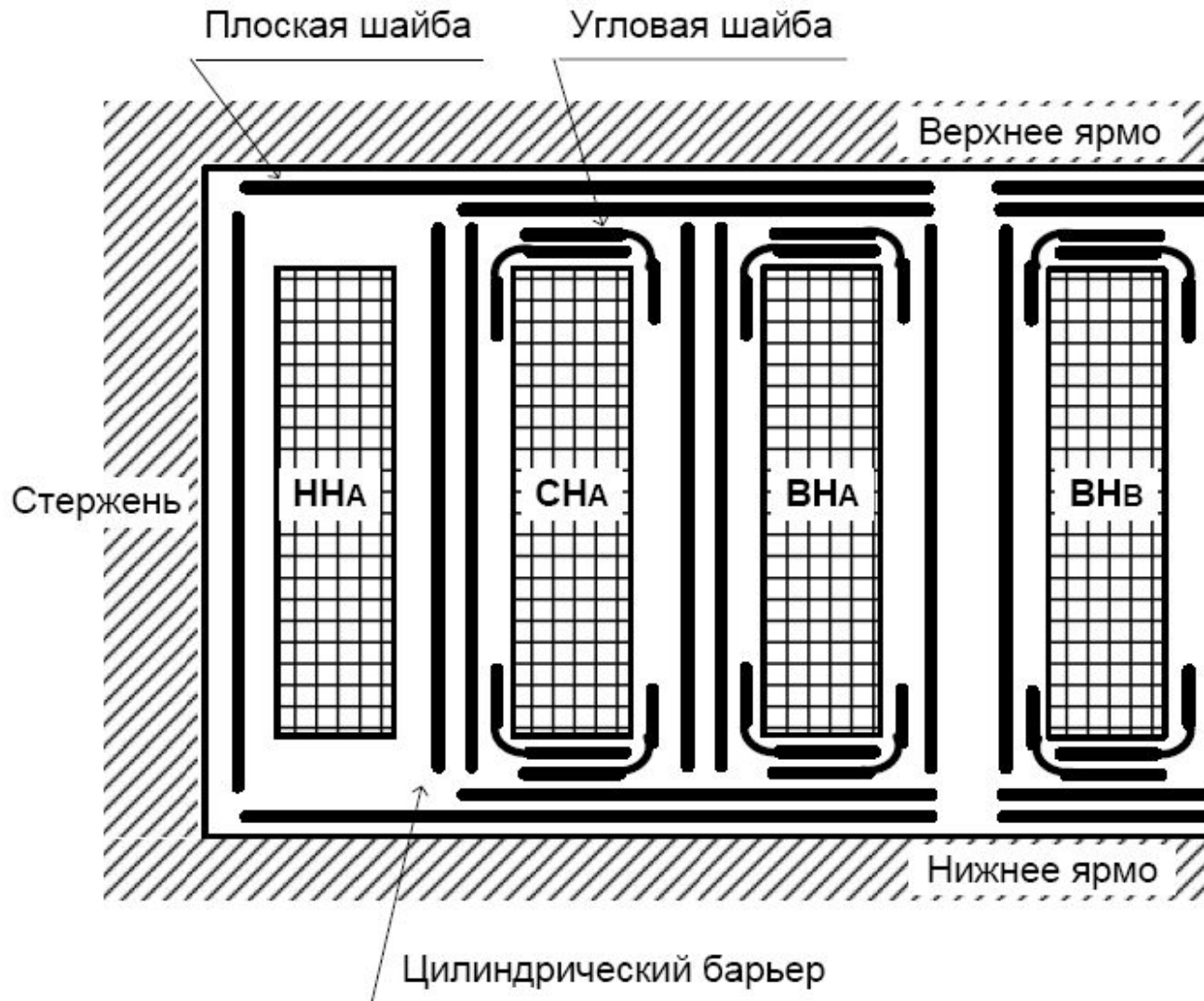
Эскизы конструкций ГИЛ трехфазного исполнения



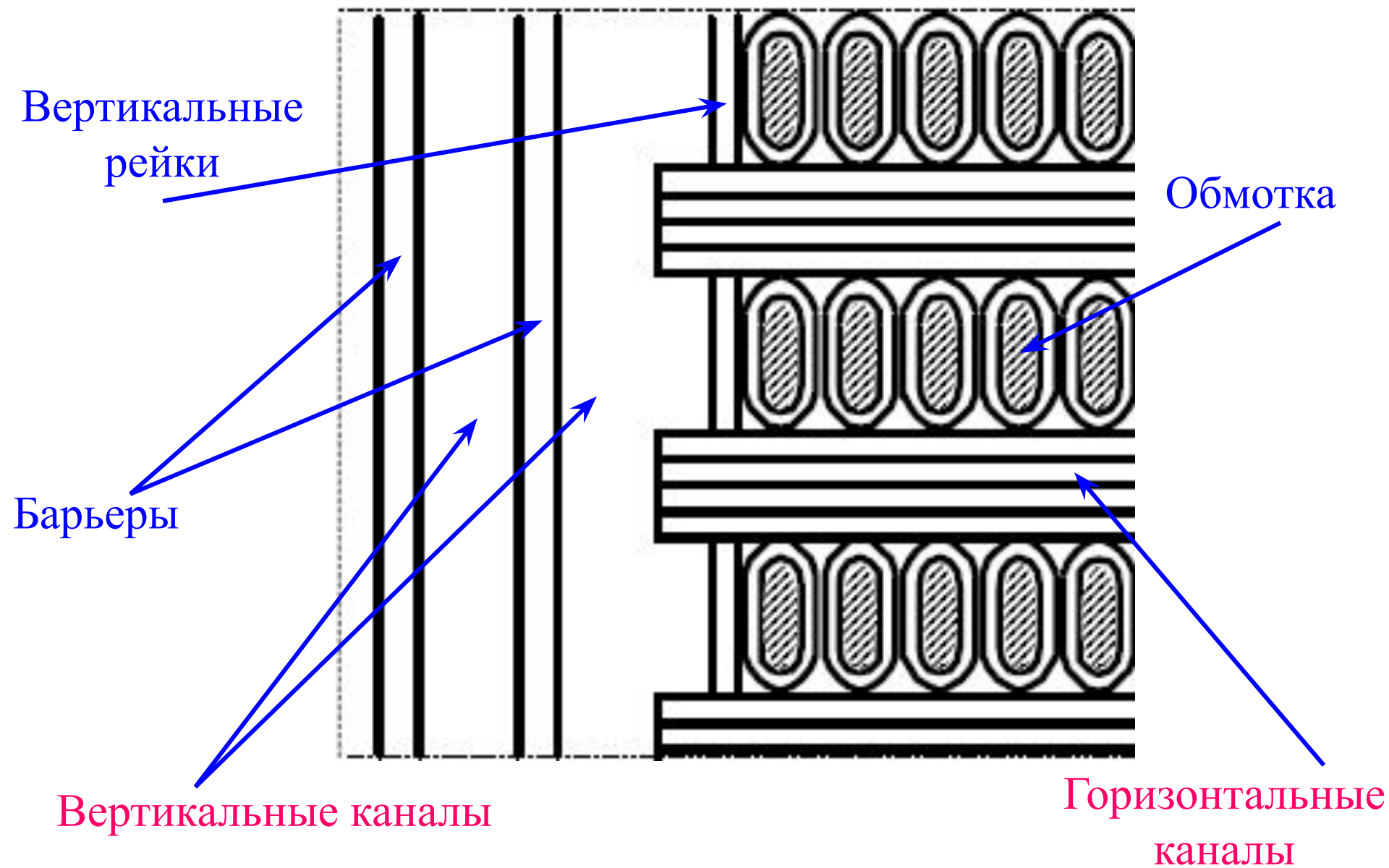
8.6. Изоляция силовых трансформаторов



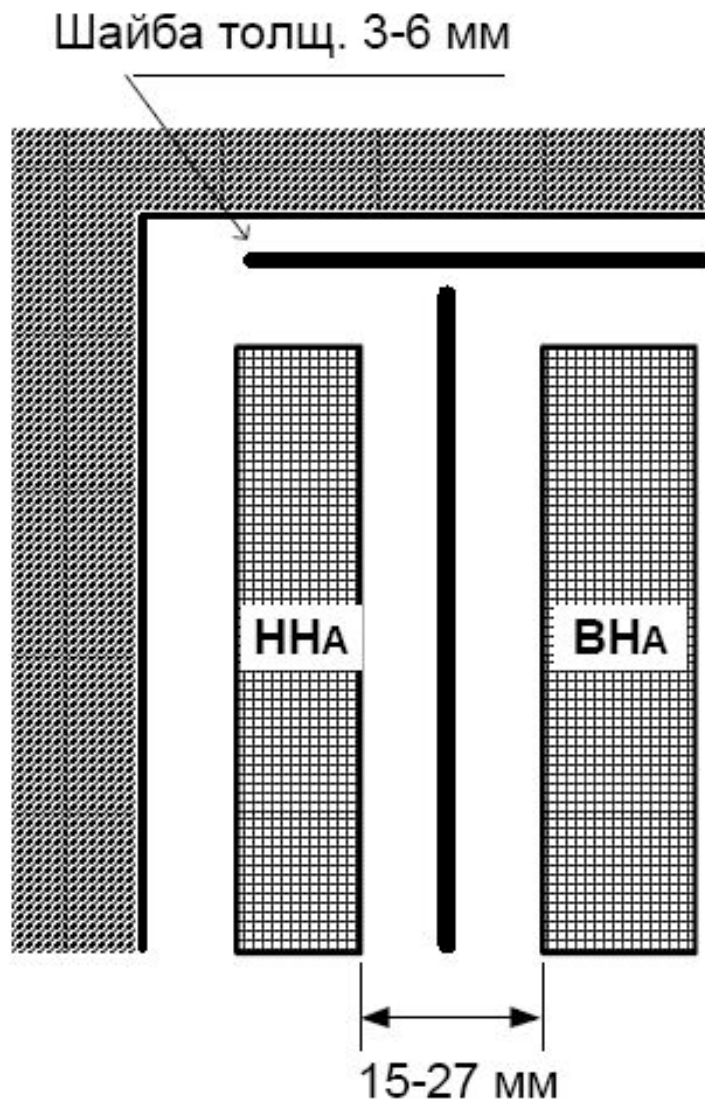
Масляные силовые трансформаторы с маслбарьерной изоляцией



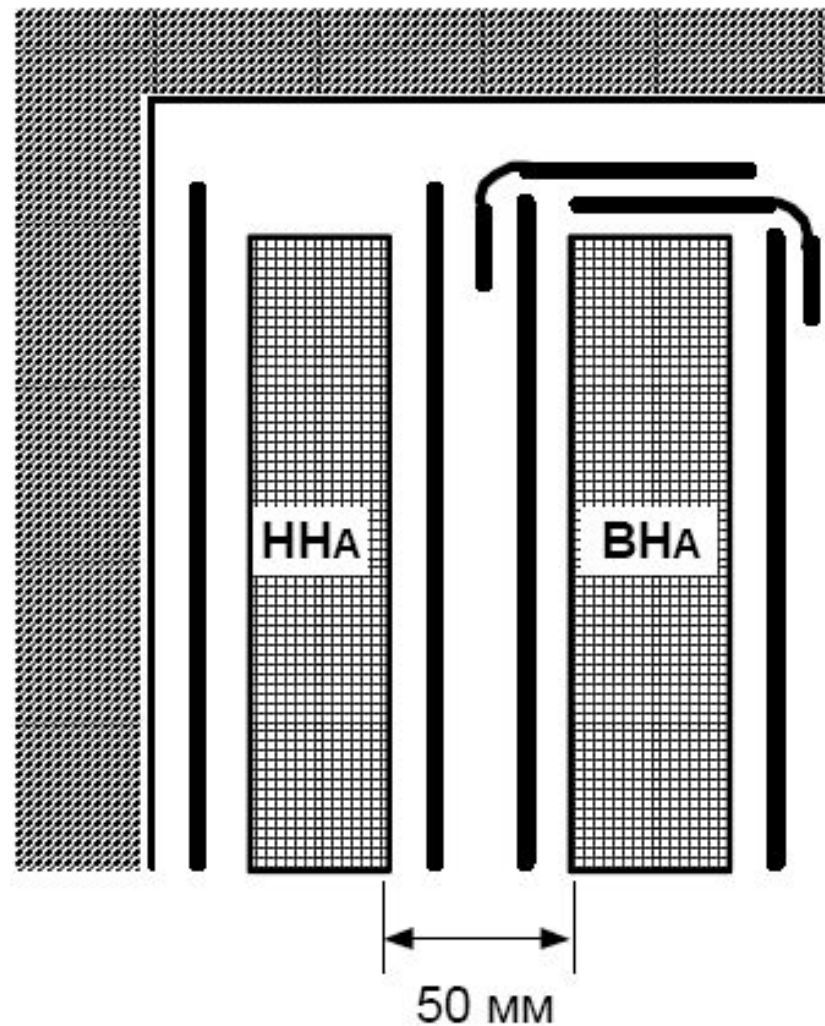
Масляные каналы двух типов



Ширина масляных каналов трансформаторов



35 кВ



110 кВ

Витковая изоляция трансформатора







ТН и ТТ с масляной изоляцией



НАМИ-10

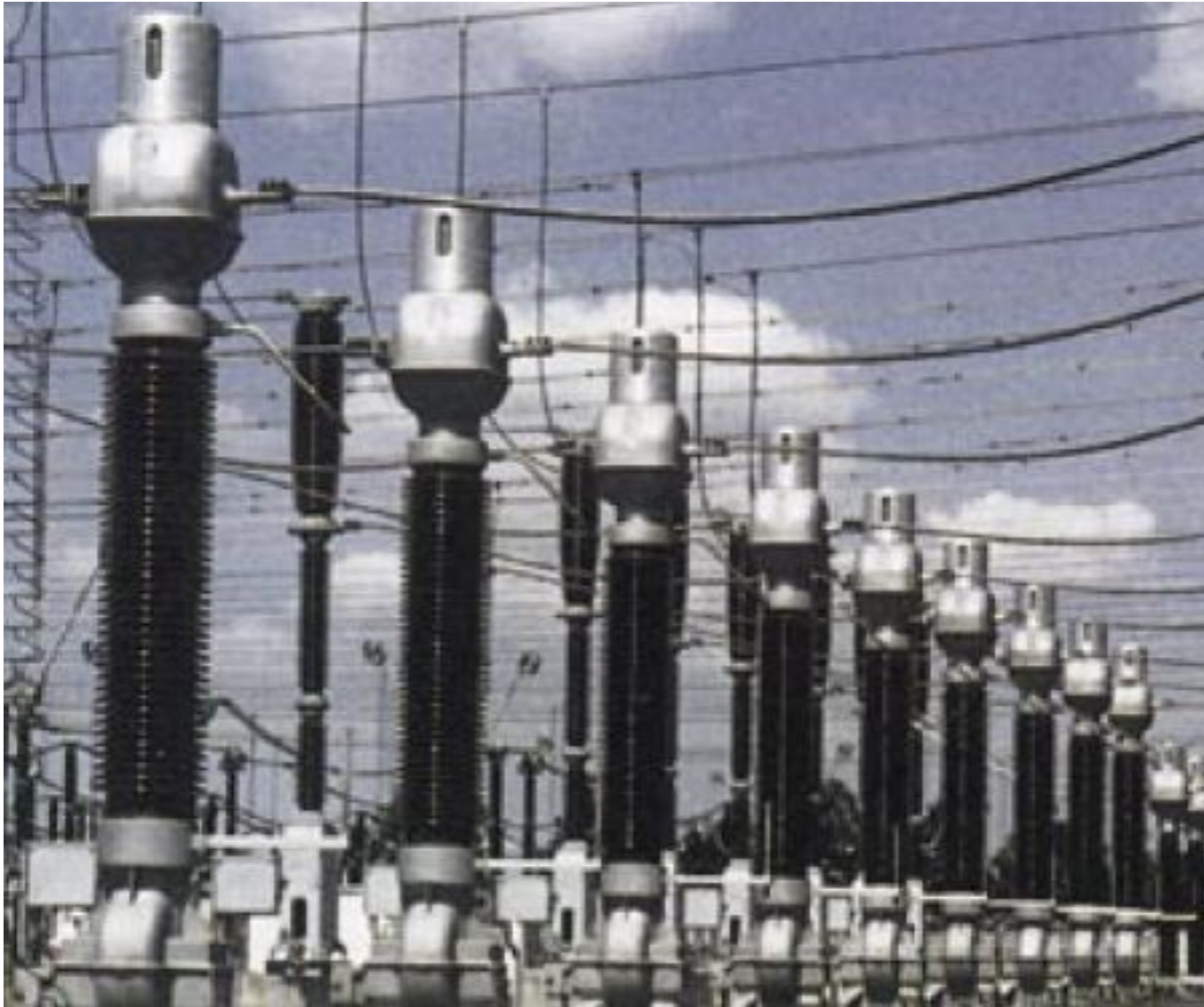


НКФ-110



ТМБО-110

Комбинированный измерительный трансформатор с масляной изоляцией



Сухие силовые трансформаторы с воздушно-барьерной изоляцией



Силовые трансформаторы с элегазовой изоляцией



ТН и ТТ с элегазовой изоляцией



Комбинированный измерительный трансформатор с элегазовой изоляцией



Сухие силовые трансформаторы с литой изоляцией

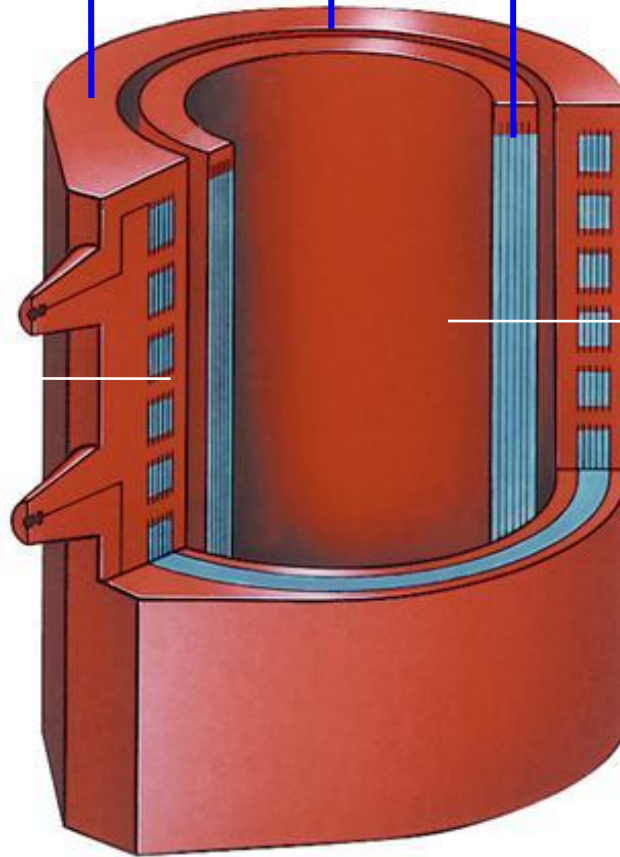


Изоляционный цилиндр

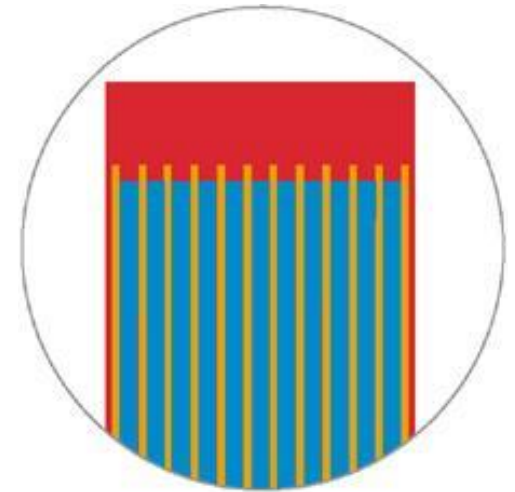
ВН

НН

ВН



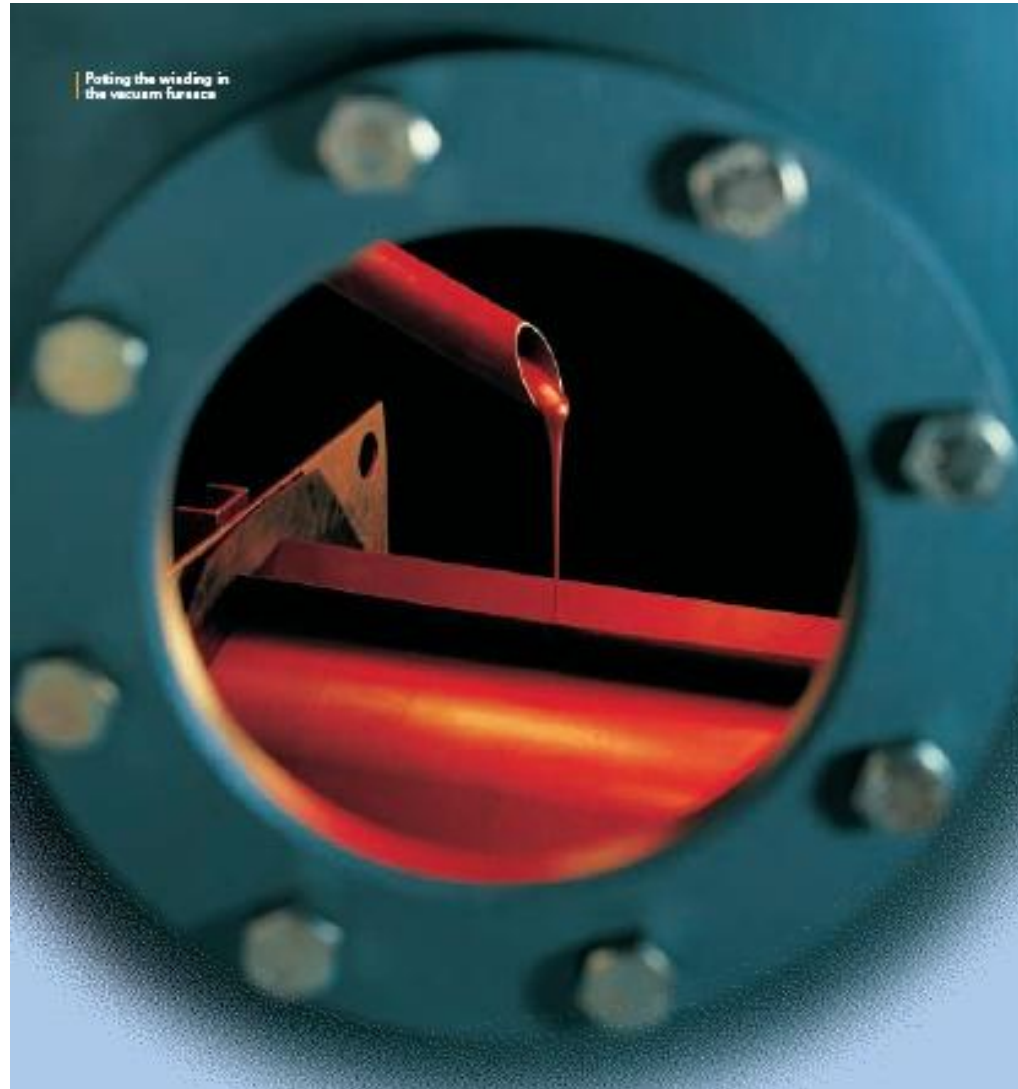
НН



- Аллюминиевые полосы
- Витковая изоляция (изоляция пленка)
- Эпоксидная смола

- Аллюминиевые или медные пластины
- Витковая изоляция (пропитка лаком в вакууме)
- Эпоксидная смола

Разливка эпоксидной смолы



Процесс намотки обмотки НН



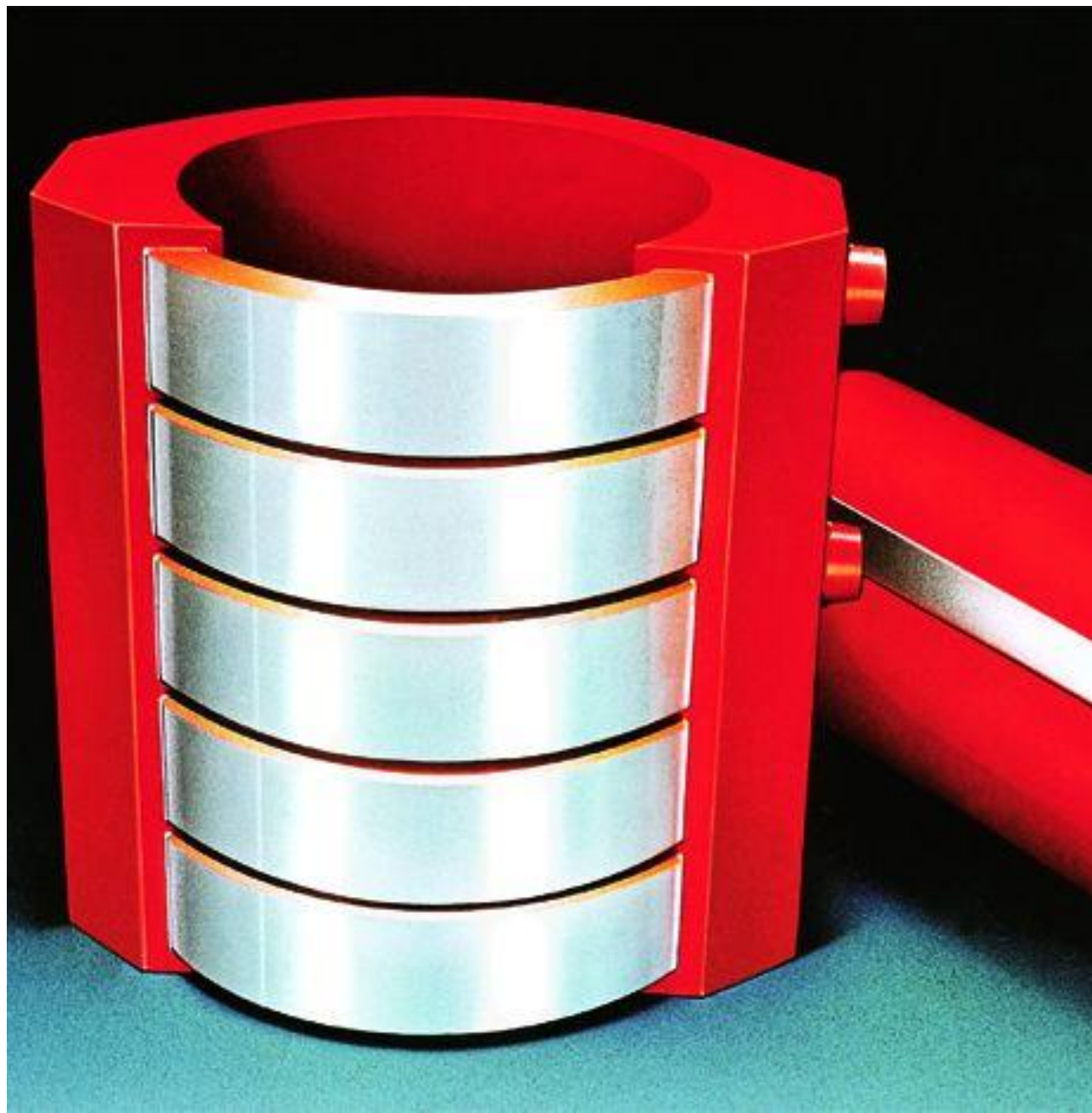
Обмотка НН



Процесс намотки обмотки ВН



Обмотка ВН





TJC-10

ТН и ТТ с литой изоляцией



ЗНОЛ-10



ТОЛ-10

ГИН 4,4 МВ для испытания изоляции трансформатора



8.7. Изоляция вращающихся машин

- корпусная или главная изоляция – между обмоткой и сталью статора;**
- междуфазная изоляция – между обмотками различных фаз;**
- витковая или продольная изоляция – между витками одной секции или между катушками.**

Слюдяные ленты



Машина для наложения лент



Агрегат для вакуумно-нагнетательной пропитки

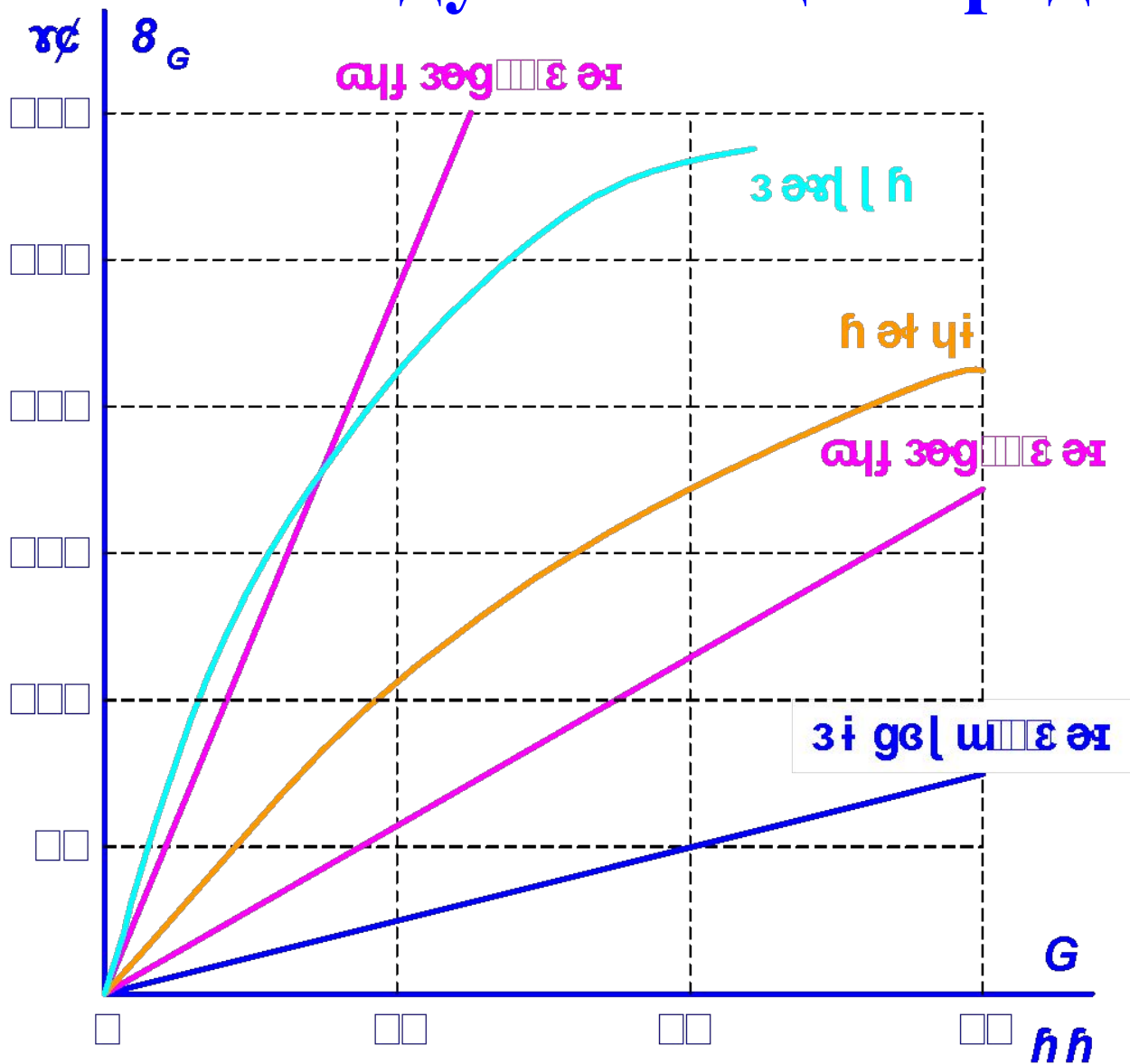


Стержни электрической машины до укладки в пазы статора

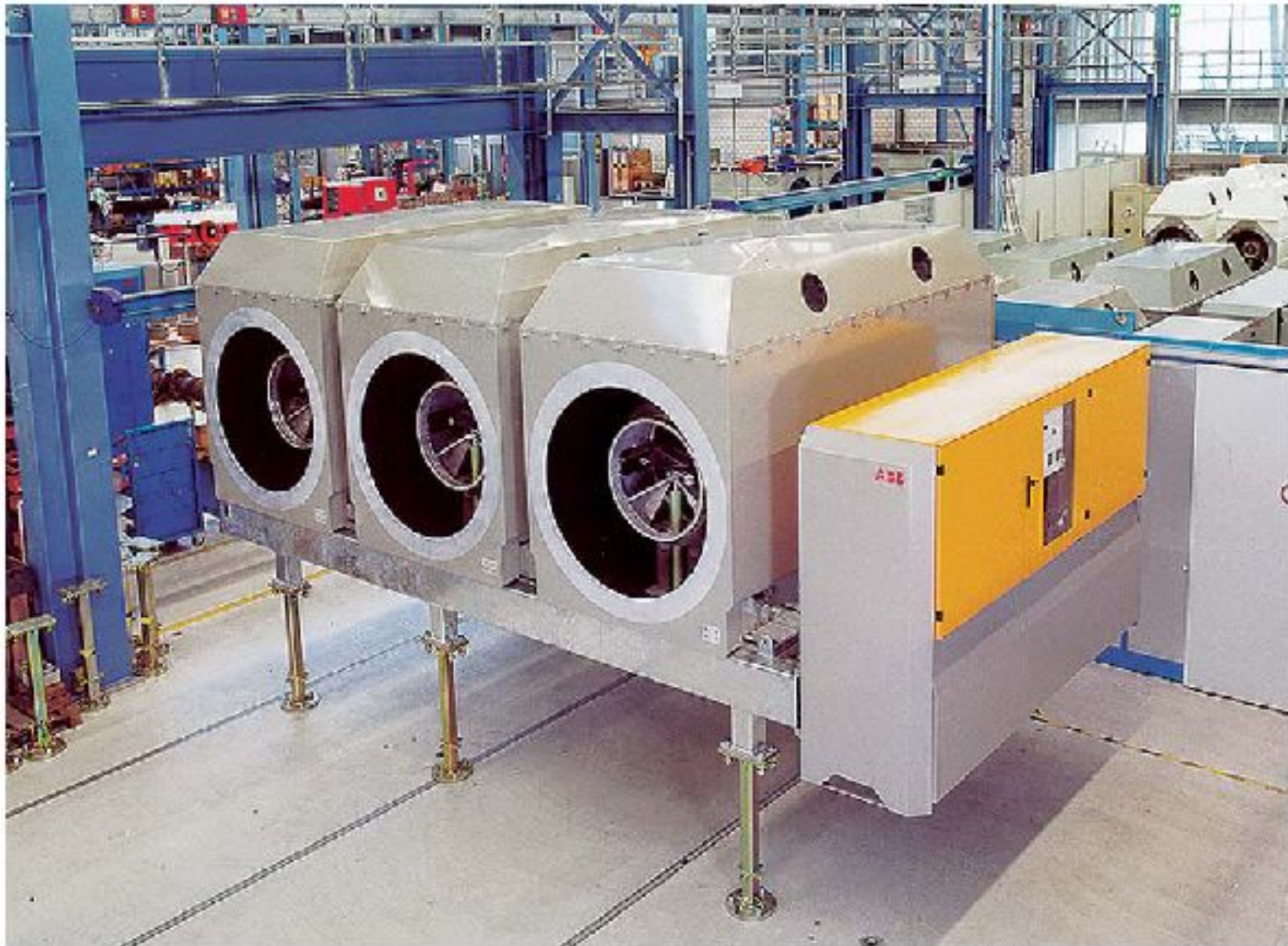


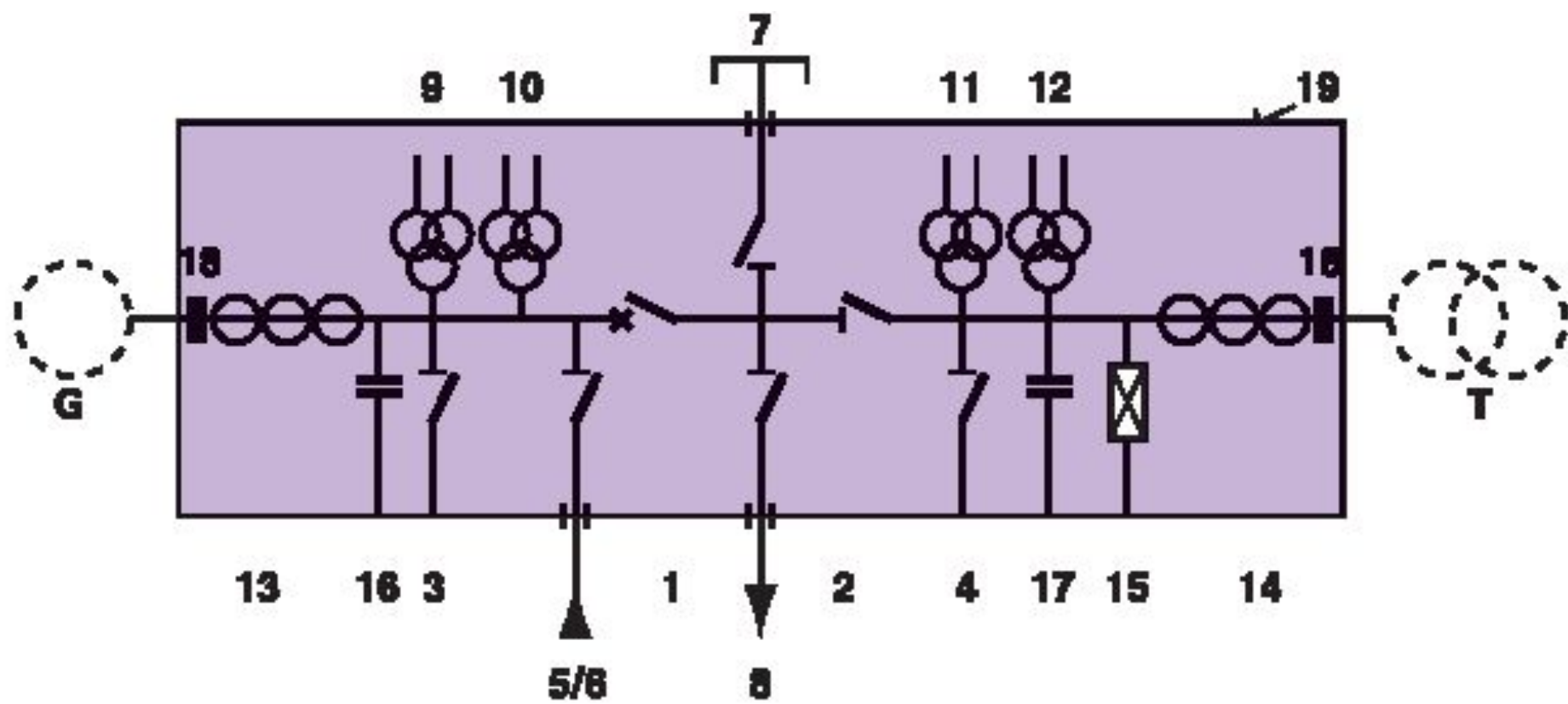
8.7. Продольная изоляция коммутационных аппаратов

Импульсное выдерживаемое напряжение различных дугогасящих сред



Элегазовый генераторный комплекс 15,75 кВ



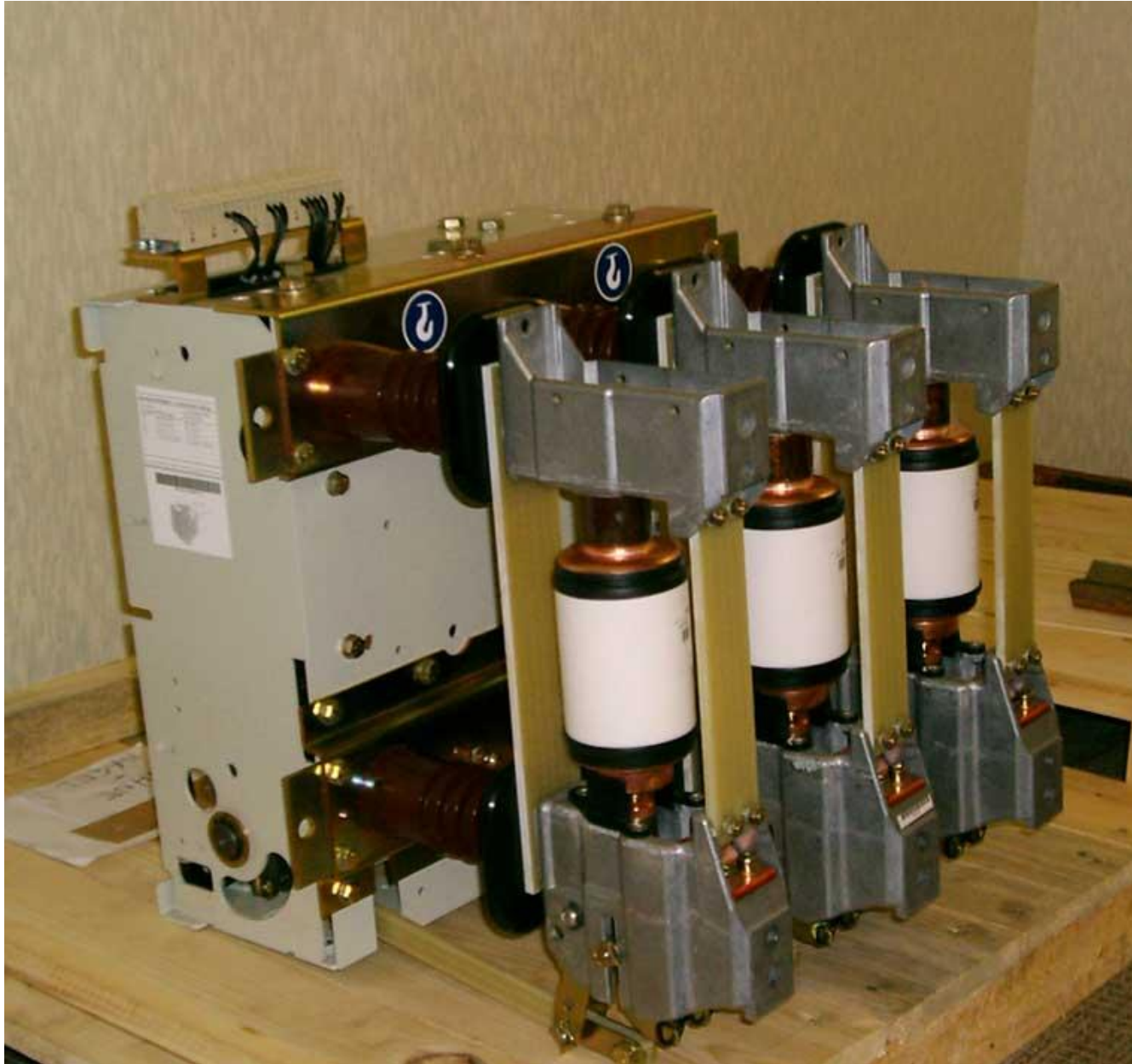




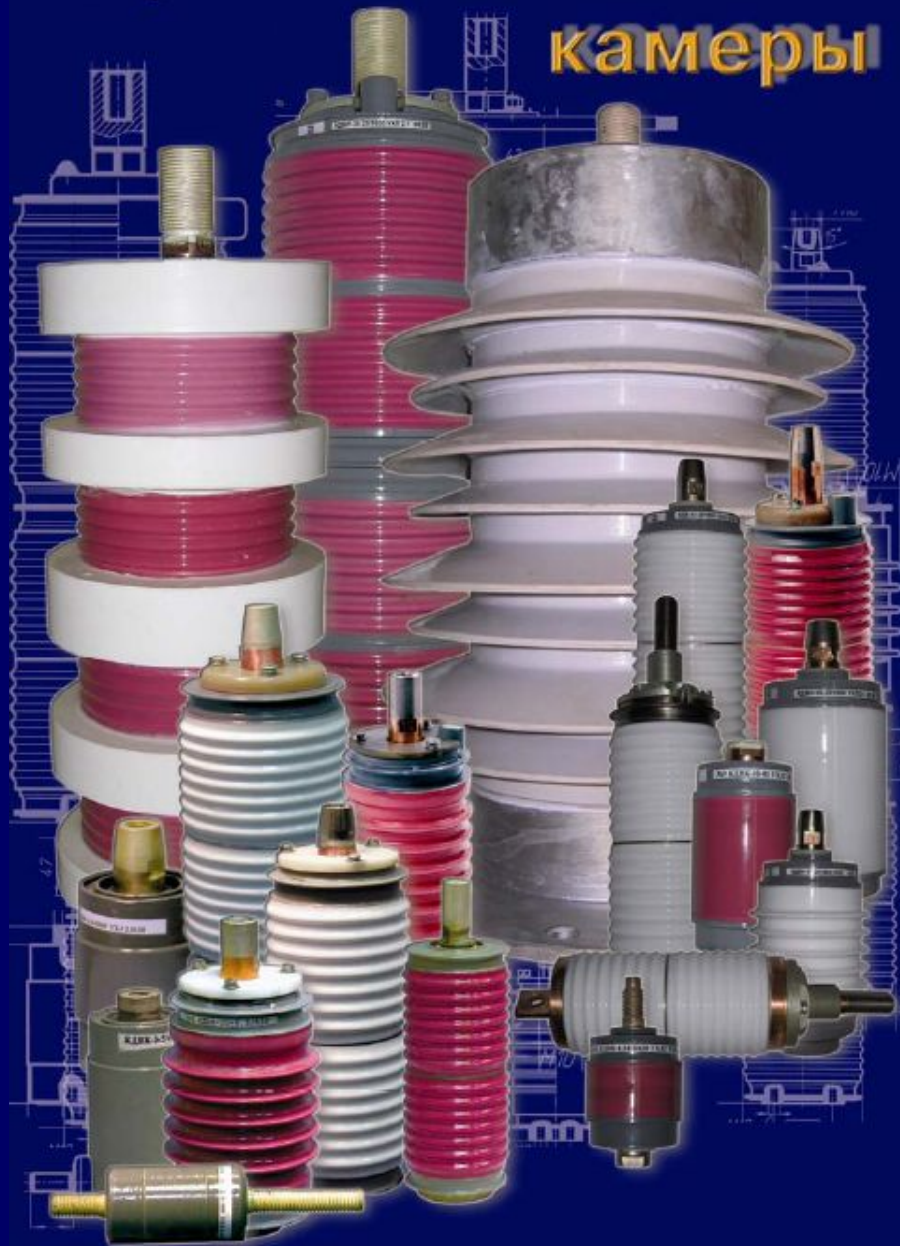
Элегазовый колонковый выключатель

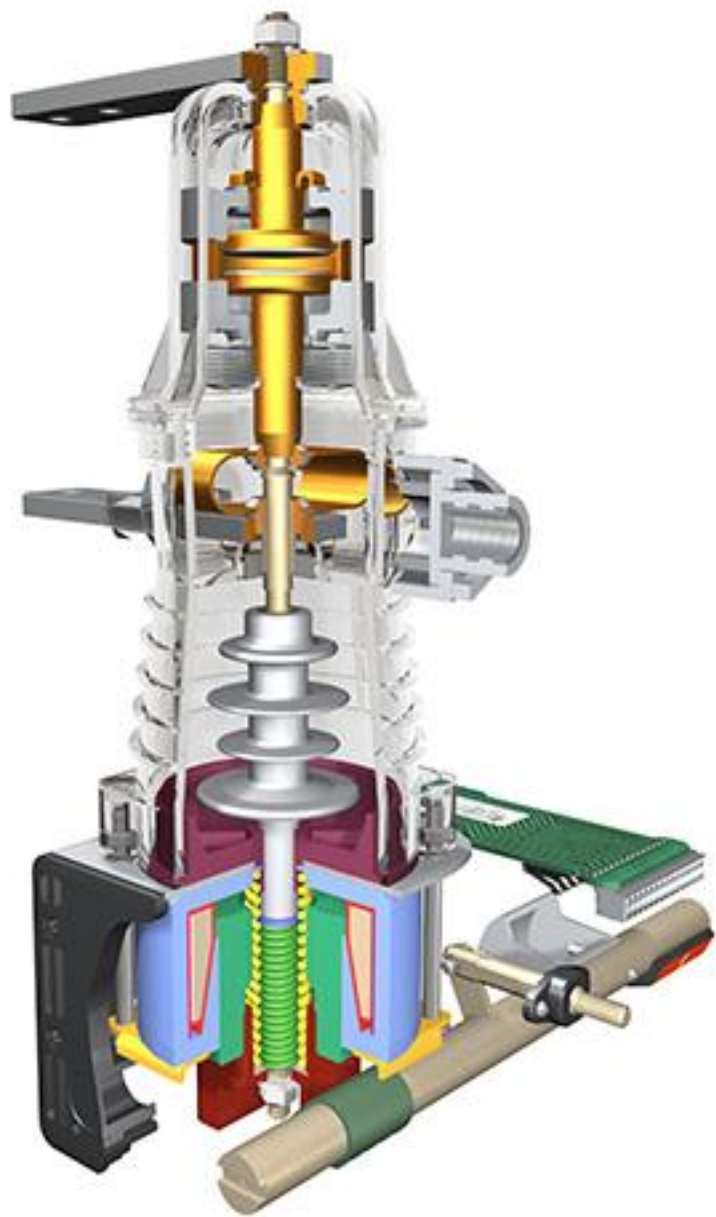


Вакуумные выключатели



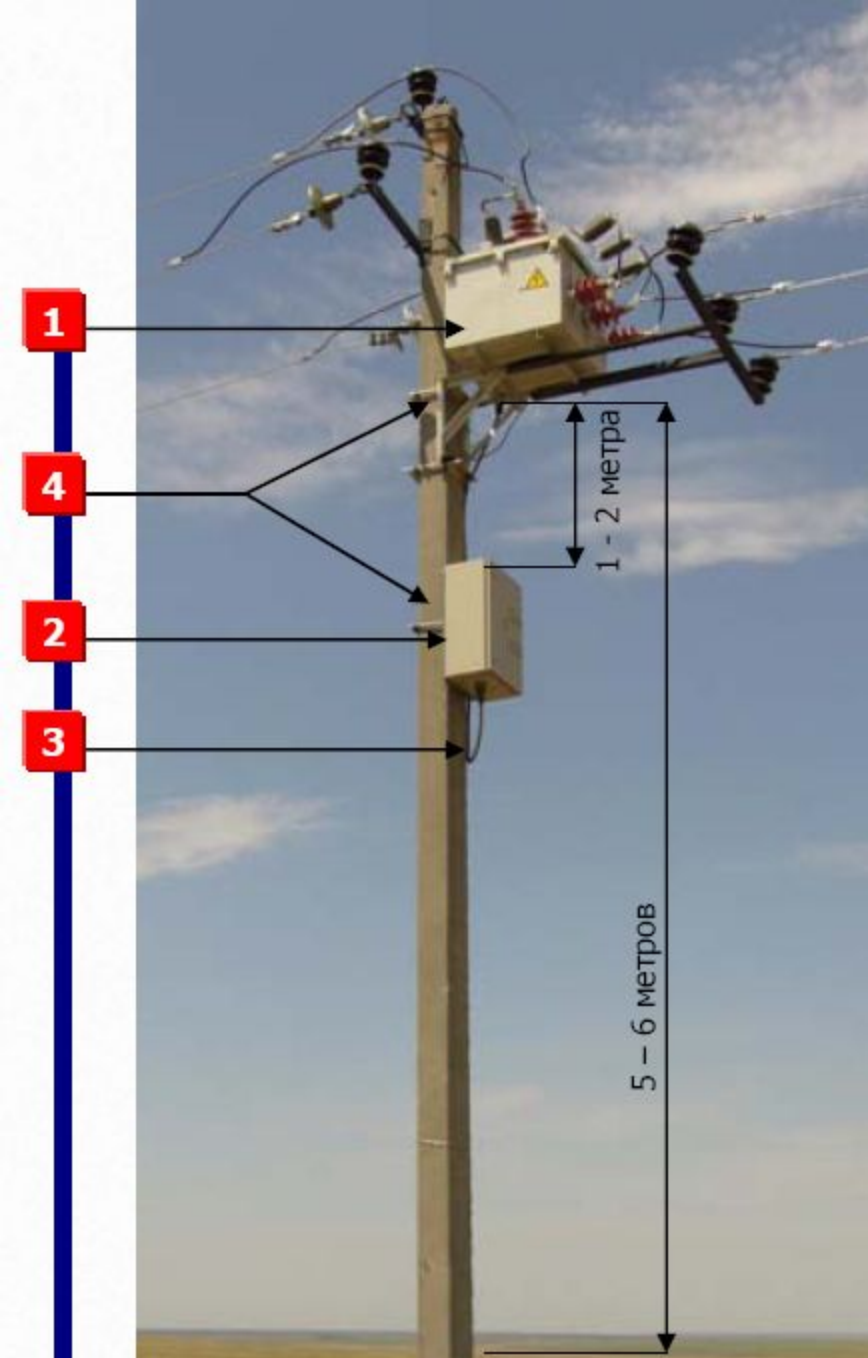
Вакуумные дугогасительные камеры





Вакуумный реклоузер

Вакуумный реклоузер — новое поколение коммутационного оборудования, объединившее в себе передовые технологии микропроцессорной релейной защиты и автоматики (РЗА) и коммутационной техники.



высоковольтный модуль (ВМ)

- Трансформаторы тока
- Трансформаторы напряжения
- Ограничители перенапряжения (ОПН-ы)

низковольтный модуль (НМ)

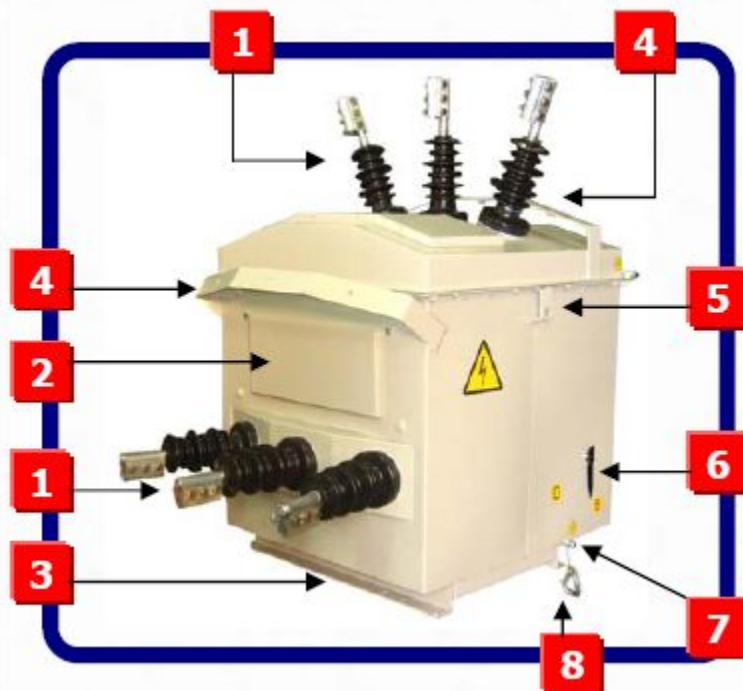
- Элементы учета электроэнергии
- Устройство GSM связи

соединительный кабель

Обеспечивает связь между ВМ и НМ.

комплект рам для крепления вм и нм

Внутри высоковольтного модуля расположены:



вакуумный выключатель

трансформаторы тока

трансформаторы напряжения

В вандалозащищенном корпусе НМ находятся:

счетчик электроэнергии**

испытательная коробка

автоматический выключатель

GSM модем/коммуникатор (по запросу)

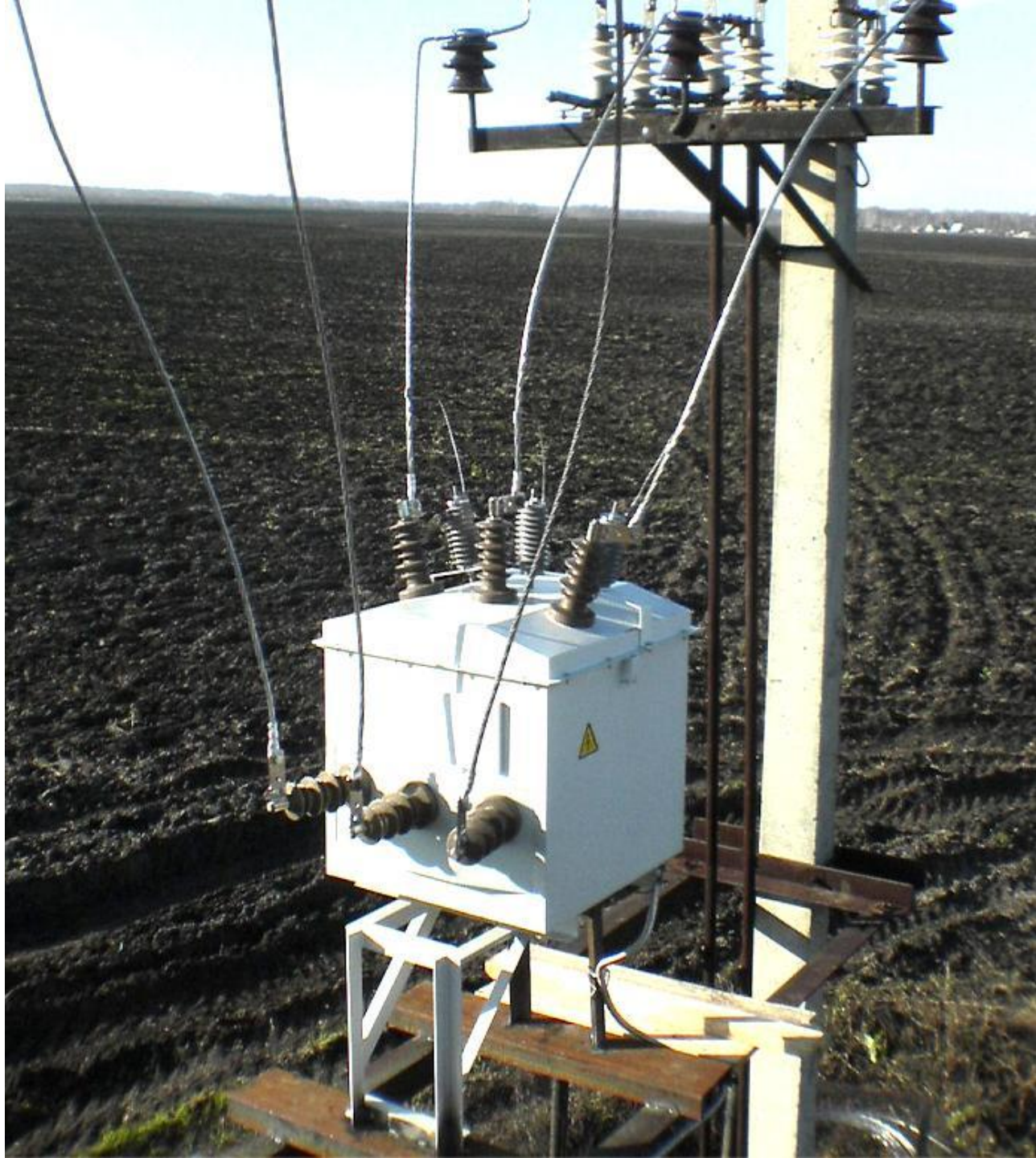
преобразователь интерфейсов (по запросу)

автоматическая система подогрева (по запросу).



Функции вакуумного реклоузера

- **автоматическое отключение поврежденных участков;**
- **автоматическое повторное включение;**
- **автоматический ввод резервного питания;**
- **самодиагностика ;**
- **измерение параметров режимов работы сети;**
- **ведение журналов событий в линии ;**
- **дистанционное управление.**



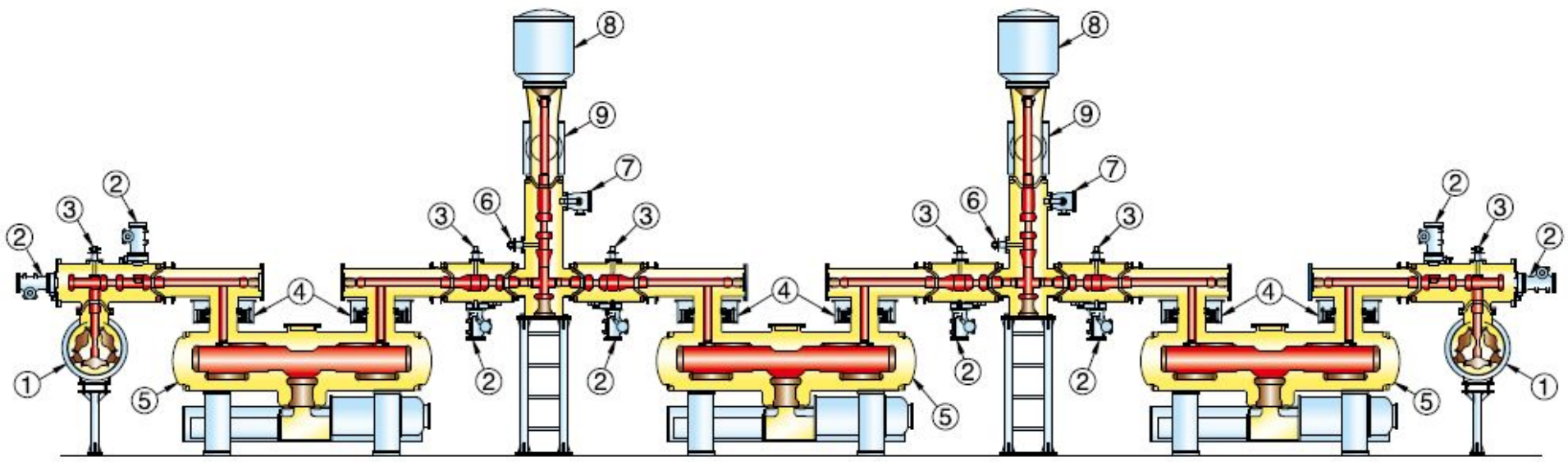
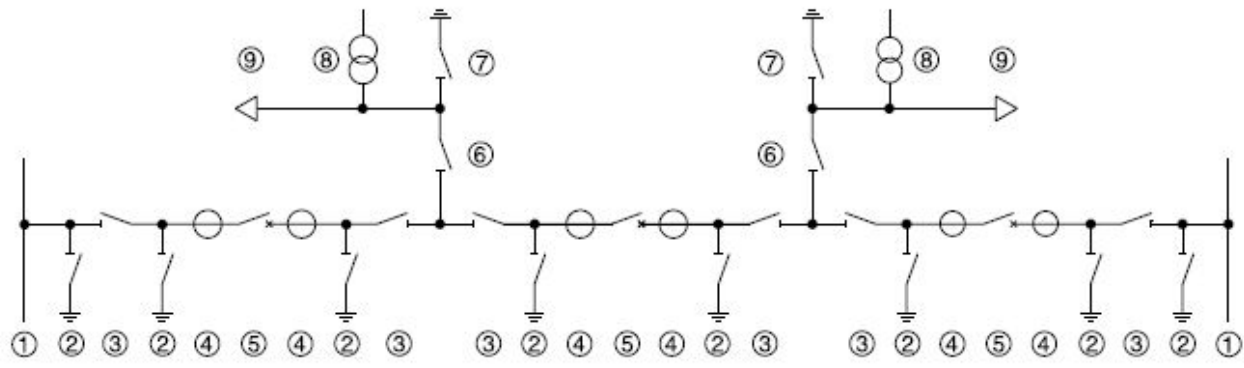


Основные характеристики

- Отсутствие необходимости в обслуживании;
- Многофункциональная релейная защита и автоматика;
- Удобство и простота монтажа на опоры линий;
- Встроенная система измерения токов и напряжений с обеих сторон коммутационного модуля;
- Надежная система бесперебойного питания;
- Малые массогабаритные показатели;
- Вандалозащищенность.

8.8. КРУЭ





Вид ячейки АТ с ТН и ОПН





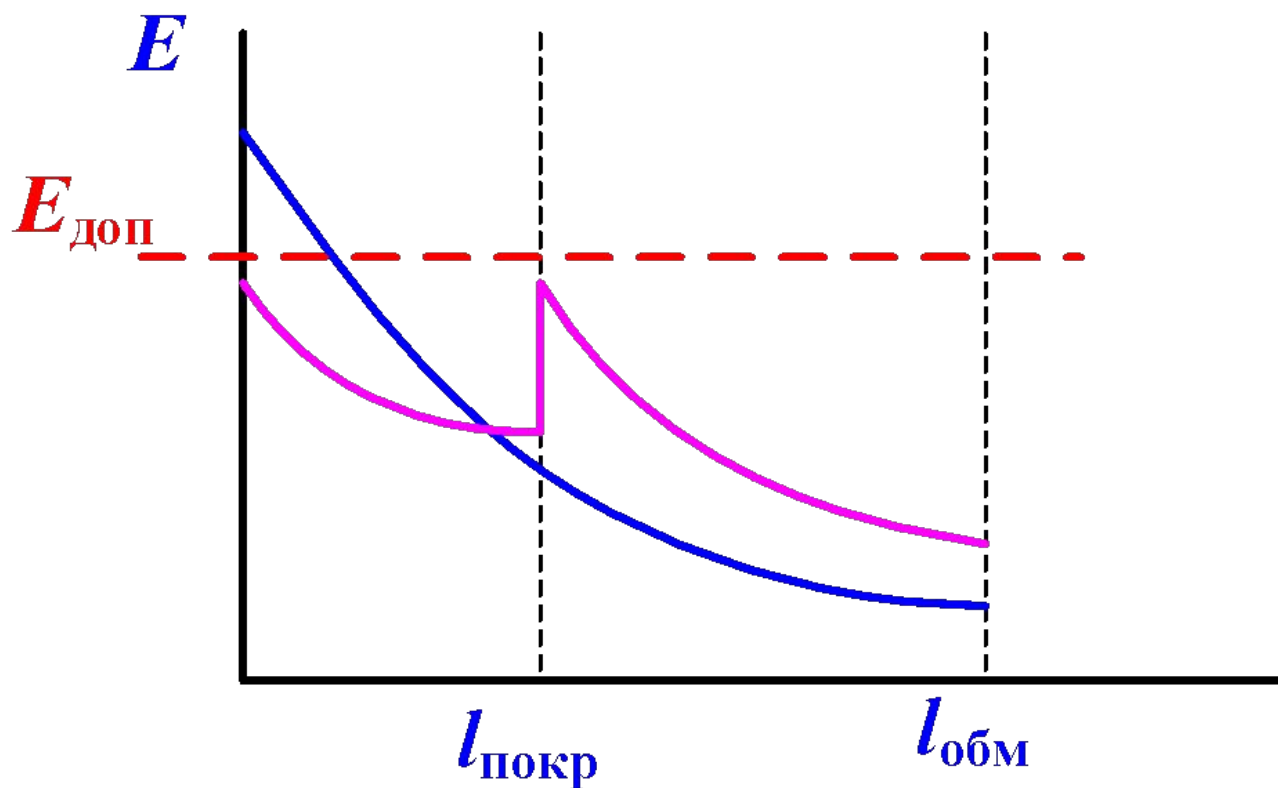
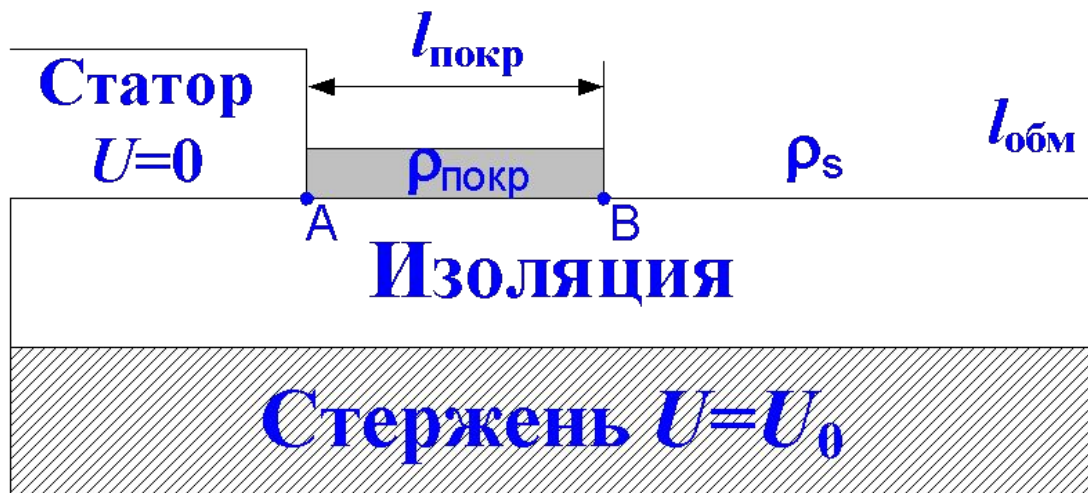


8.9. Регулирование электрического поля во внутренней изоляции

Неоднородность поля принято
характеризовать коэффициентом
неоднородности:

$$K_{\text{н}} = \frac{E_{\text{max}}}{E_{\text{ср}}}$$

1. Полупроводящие покрытия по внутренней изоляции (например, в месте выхода обмотки из паза электрической машины).



Без полупроводящего покрытия

$$E_A = U_0 \sqrt{\omega \rho_s \varepsilon_0 \varepsilon / d}$$

При наличии покрытия

$$E_A = U_0 \sqrt{\omega \rho_{\Pi} \varepsilon_0 \varepsilon / d}$$

т.к. $\rho_{\Pi} < \rho_s$

E_A уменьшится в $\sqrt{\frac{\rho_s}{\rho_{\Pi}}}$ раз

2. Дополнительные электроды в толще изоляции

Электрод № 1

Внутр. изоляция

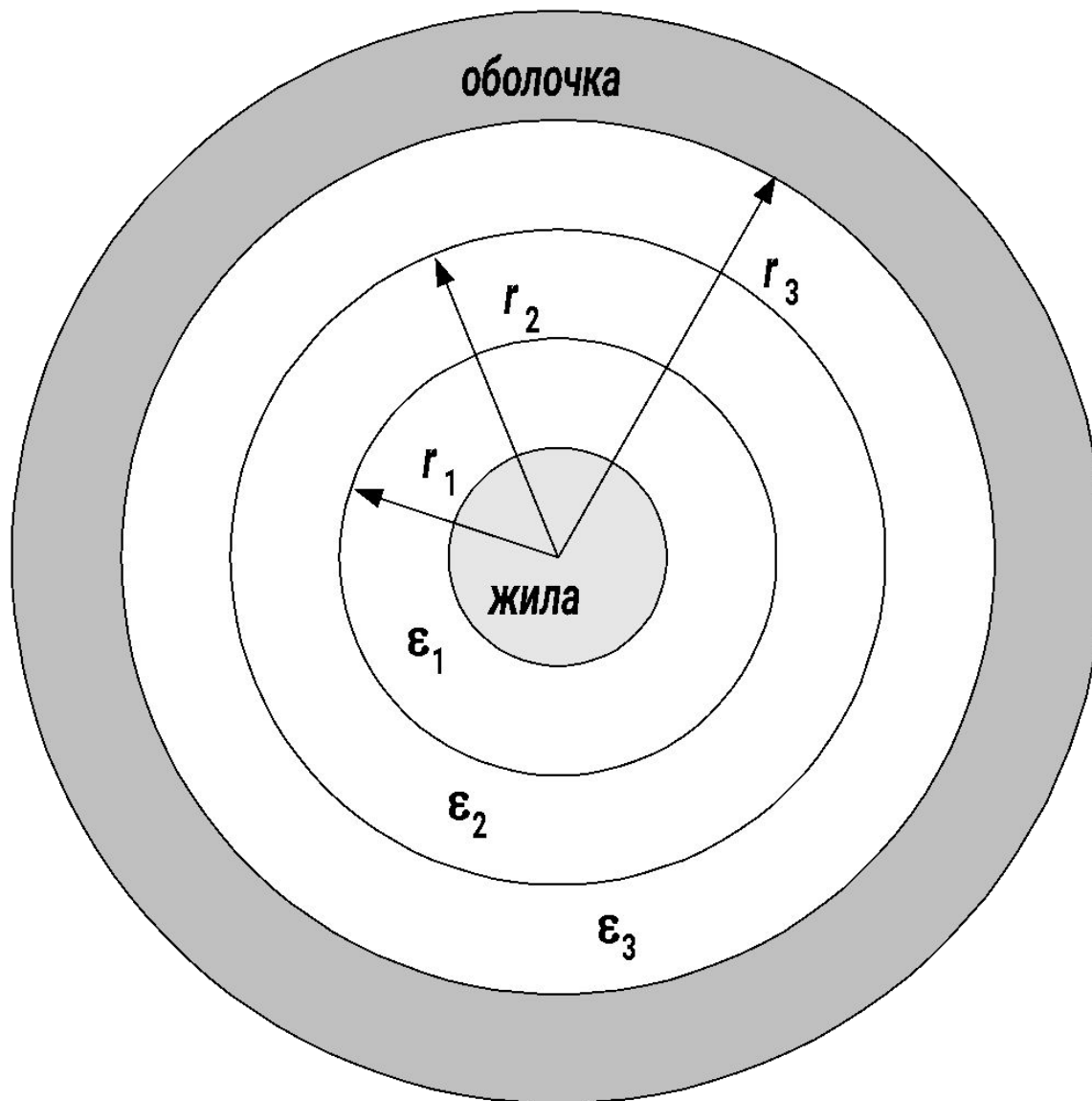
n

2

1

Электрод № 2

3. Градирование изоляции



$$2\pi r_1 \varepsilon_0 \varepsilon_1 E_{\max 1} = 2\pi r_2 \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_{\max 2} = \dots$$

при $r_1 \varepsilon_1 = r_2 \varepsilon_2 = r_3 \varepsilon_3$

$$E_{\max 1} = E_{\max 2} = E_{\max 3}$$

Следовательно, при увеличении радиуса

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$$

Изменение напряженности по толщине изоляции при градировании

