



Курс: «Электрические аппараты»

Лекция № 15

Высоковольтные электрические аппараты. Выключатели нагрузки, разрядники

Преподаватель: Сарсенбаев Е.А., ассоц.проф. кафедры
«Энергетика»

y.sarsenbayev@satbayev.university

Алматы 2025

Выключатель нагрузки (ВН)

Выключатель нагрузки – коммутационный трехполюсный аппарат, который служит для отключения-включения цепей, находящихся под нагрузкой, но не способный отключать токи к.з. Отключение сверхтоков в выключателях нагрузки осуществляется предохранителями.

Выключатель нагрузки - простейший высоковольтный выключатель, конструктивно базирующийся на конструкции разъединителей.

Применение

Выключатели нагрузки устанавливаются в распределительных устройствах и подстанциях и допускают коммутацию до нескольких МВА, в зависимости от конструкции и номинального тока.

Выключатель нагрузки - распространенный коммутационный аппарат в распределительных сетях 6, 10 кВ.

Разновидности выключателей нагрузок

- Автогазовые
- Вакуумные
- Элегазовые

В эксплуатации находятся выключатели нагрузки серий ВНР - с ручным приводом и ВПН - с пружинным приводом, а также выключатели нагрузки прежних серий ВН и их модификации: с заземляющими ножами (стационарными заземлителями), с предохранителями, соединяемыми последовательно с выключателем нагрузки, для отключения тока КЗ и т. д.

Выключатели нагрузки не предназначены для отключения токов КЗ. Но в схемах с АВР допускается автоматическое включение выключателей нагрузки серий ВПН с подачей напряжения на электроустановку от резервного источника питания.

Не рекомендуется применение выключателей нагрузки с ручным и полуавтоматическим приводами для подачи напряжения на линии, трансформаторы и шины, отключившиеся действием релейной защиты без осмотра, оборудования и устранения повреждения.

При включении выключателя нагрузки сначала замыкаются дугогасительные контакты, затем главные, при отключении - наоборот. В отключенном положении подвижный дугогасительный контакт образует видимый воздушный зазор с дугогасительной камерой. Выключатели нагрузки могут снабжаться стационарными заземляющими ножами с блокировкой от неправильного включения.

Выключатели нагрузки получили широкое распространение в распределительных сетях 6-10 кВ для включения и отключения линий, трансформаторов в нормальном режиме работы, а также в схемах автоматического включения резерва. При операциях, проводимых оперативным персоналом вручную, значение тока, проходящего через аппарат, не должно превышать номинального тока аппарата. В соответствии с этим перед плановым отключением выключателя нагрузки необходимо проверять значение тока в отключаемой цепи. При отсутствии в цепи измерительного прибора максимально возможное значение тока в коммутируемой цепи должно определяться заранее и указываться в местной инструкции.

При устранении аварийных ситуаций выключатели нагрузки используются для выделения (отключения) повреждённого участка сети. Операции выполняются действием автоматических устройств в периоды времени, когда с электроустановки снято напряжение, т.е. в так называемые «бестоковые» паузы (качество отделителя).

Условное обозначение выключателя ВН Х-Х-10/Х-Х хх 3 ХЗ:

ВН - выключатель нагрузки;

Х - исполнение:

А - автогазовый;

М - модернизированный;

П - с пружинным приводом;

Р - с ручным приводом

Х - тип расположения привода:

П - правое,

Л - левое

10 - номинальное напряжение, кВ;

Х - номинальный ток, А (400, 630);

Х - номинальная периодическая составляющая сквозного тока, А (10, 20);

х - наличие ножей заземления:

з - с заземляющими ножами;

2з - с заземляющими ножами с двух сторон

х - расположение заземляющих ножей (если только с одной стороны):

п - заземляющие ножи расположены за предохранителями;

в - заземляющие ножи расположены со стороны заземляющих контактов

З - устройство для подачи команды на отключение при перегорании предохранителя;

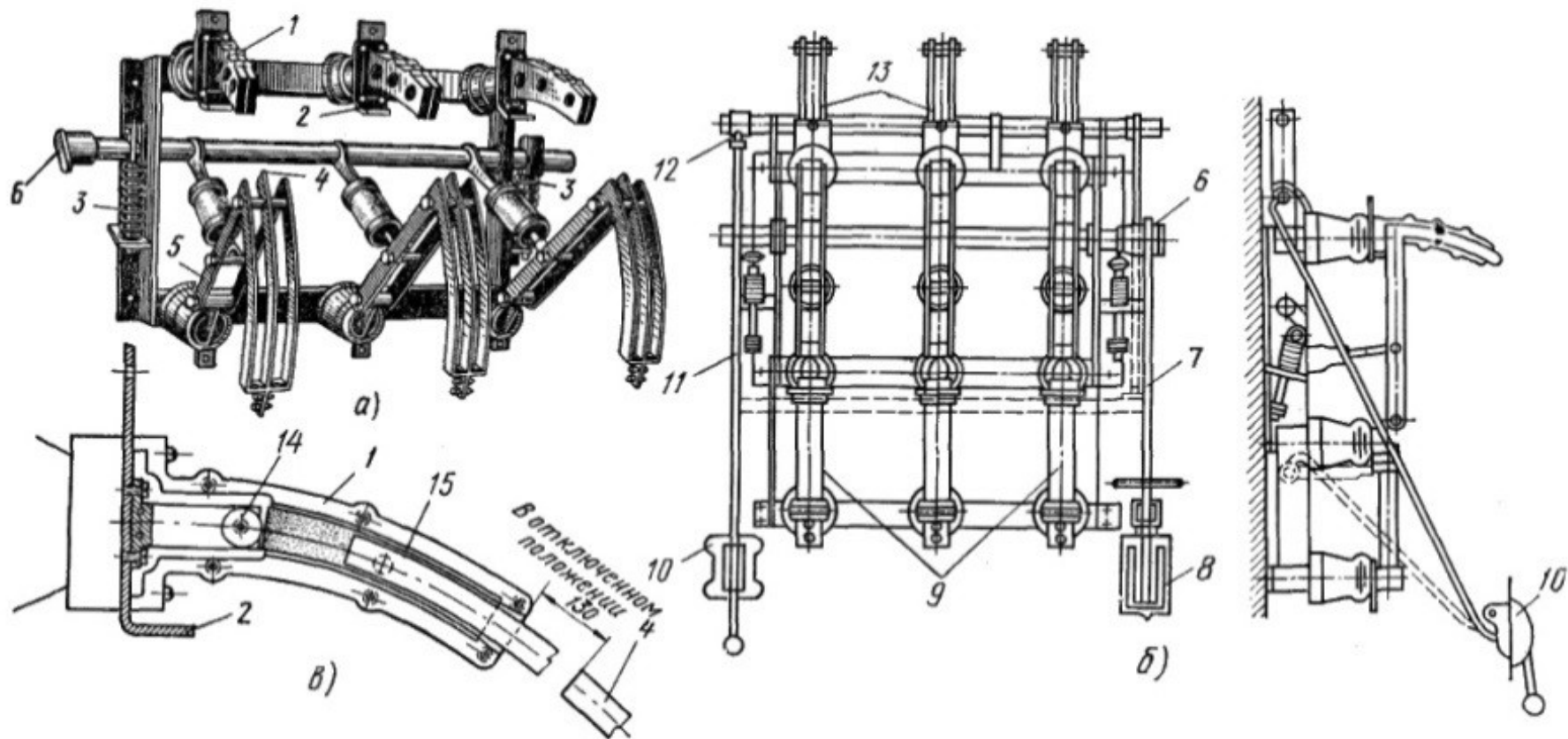
ХЗ - климатическое исполнение (У, Т) и категория размещения (3) по ГОСТ.

Преимущества

- **Простота в изготовлении и эксплуатации.**
- **Значительно меньшая стоимость по сравнению с другими выключателями - в несколько раз (особенно у автогазовых).**
- **Возможность отключения и включения номинальных токов нагрузок.**
- **Наличие защиты от сверхтоков.**
- **Наличие видимого разрыва между контактами, что исключает установку дополнительного разъединителя.**

Недостатки

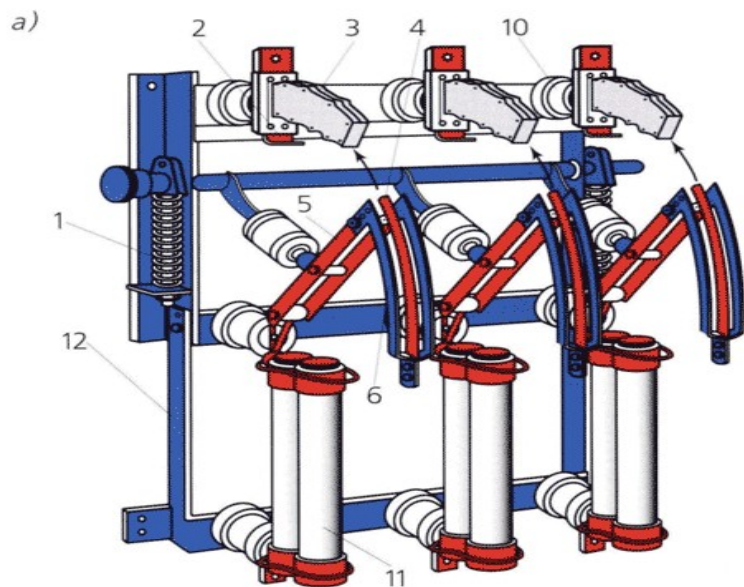
- **Коммутация небольших мощностей;**
- **Малый ресурс работы (особенно у автогазовых).**



а - общий вид ВН-16; б - ВНПз-16 с приводом ПРА-17; в - разрез дугогасительной камеры

1 - дугогасительная камера; 2, 3 - неподвижный и подвижный рабочие контакты; 3 - пружины; 4, 14 - подвижный и неподвижный дугогасительные контакты; 6 - рычаг на валу выключателя нагрузки; 7 - тяга привода ПРА-17; 8, 10 - приводы ПРА - 17 и ПР-2; 9 - предохранители ПК; 11 - тяга привода ПР-2; 12 - рычаг на валу заземляющих ножей; 13 - заземляющие ножи; 5 - вкладыши из органического стекла.

Выключатель нагрузки ВНП-16



а - общий вид ВНП-16;

б - дугогасительная камера;

1 - отключающая пружина;

2 - неподвижный контакт;

3 - дугогасительная камера;

4 - подвижный дугогасительный контакт;

5 - подвижный контакт;

6 - стальная полоса;

7 - стяжные винты;

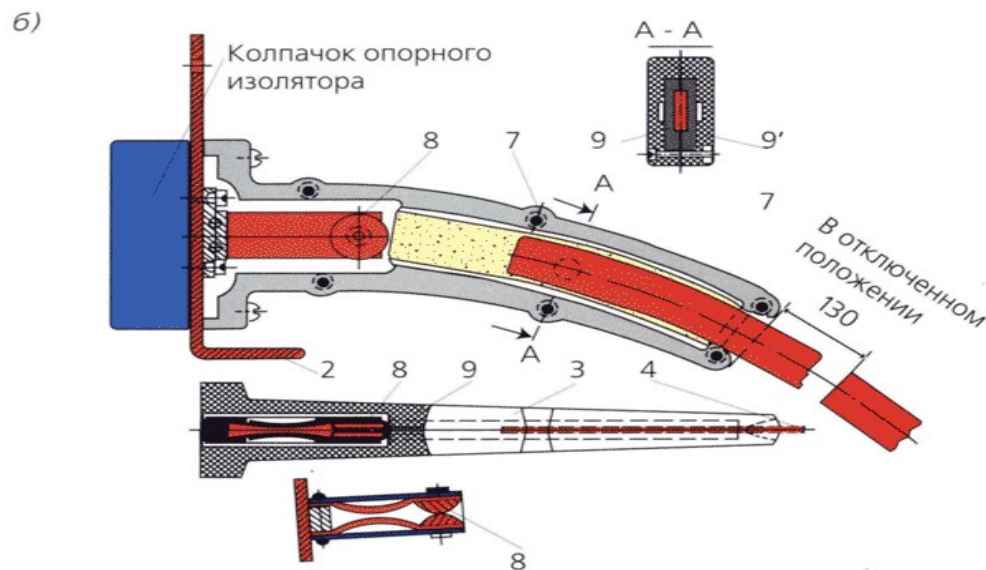
8 - неподвижный дугогасительный контакт;

9 - газогенерирующий вкладыш; 10

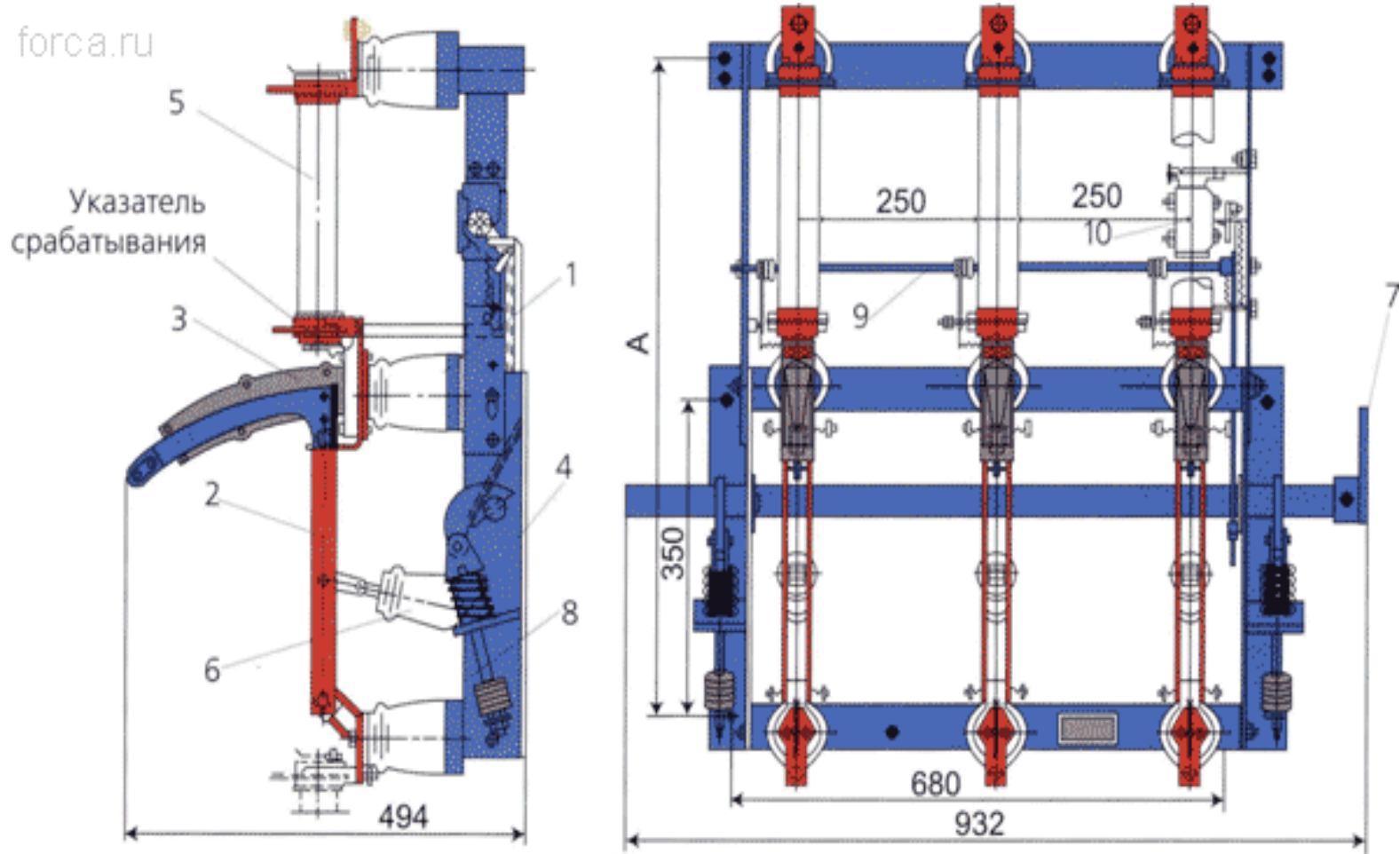
- опорный изолятор;

11 - предохранитель;

12 - рама.



Выключатель нагрузки ВНП-17



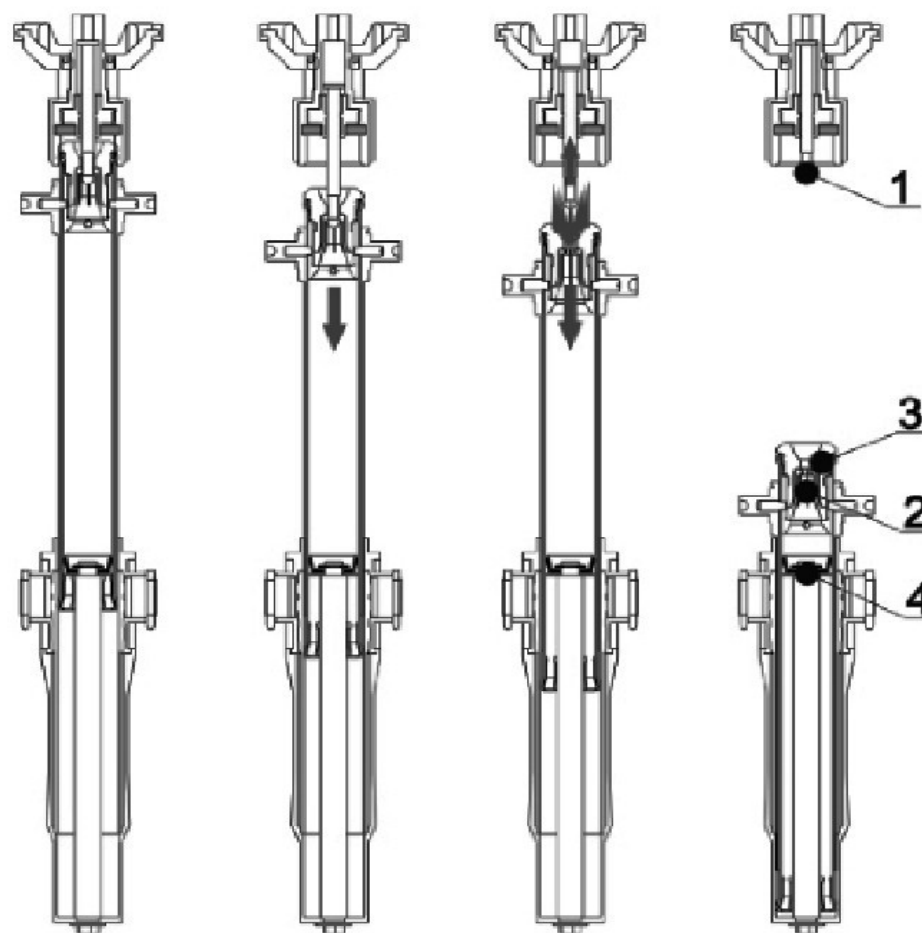
1 - опорный изолятор; 2 - нож; 3 - дугогасительное устройство; 4 - фарфоровая тяга; 5 - патрон предохранителя; 6 - отключающая пружина; 7 - рычаг для присоединения к приводу; 8 - опорная рама выключателя нагрузки; 9 - устройство, отключающее выключатель при перегорании предохранителя на любом из трех полюсов; 10 - отключающий электромагнит.

Выключатель нагрузки ВНР-10/630



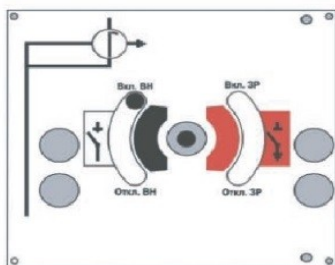


Выключатель нагрузки
трехпозиционный ВНТ с
предохранителями ($I_{ном}=630\text{ А}$)

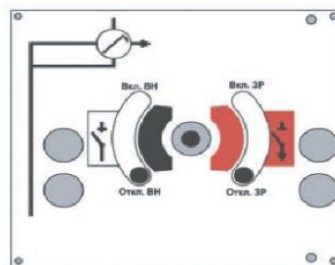




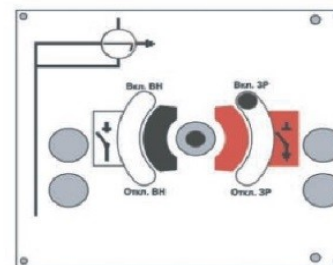
«ВКЛЮЧЕНО»



«ОТКЛЮЧЕНО»



«ЗАЗЕМЛЕНО»



Применение трехпозиционных коммутационных аппаратов позволяет:

- Существенно уменьшить габаритные размеры КСО.
- Исключить одновременное выполнение двух коммутационных операций «включено» и «заземлено».
- Не допустить ошибочные действия персонала, повысить безопасность обслуживания и снизить вероятность повреждения оборудования распределительных устройств.
- Исключить возможность неполнофазных режимов при перегорании хотя бы одного предохранителя.

Выбор выключателей нагрузки

1. $U_{уст} \leq U_{ном}$
2. $I_{ном} \leq I_{ном}; I_{max} \leq I_{ном}$
3. $i_y \leq i_{дин}$
4. $B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$

Если выключатель нагрузки устанавливается совместно с высоковольтным предохранителем, то предохранитель выбирается:

по напряжению, по длительному току, по отключающей способности

$$I_{п,0} \leq I_{ном.отк}$$

Ограничители перенапряжений

Разрядники и ограничители перенапряжений (ОПН) - аппараты, ограничивающие напряжение в электроустановке при коммутационных и атмосферных перенапряжениях.

Они позволяют снизить требования к прочности электрической изоляции аппаратов и оборудования, уменьшить габаритные размеры электроустановки и значительно удешевить ее.



Защита оборудования ОРУ

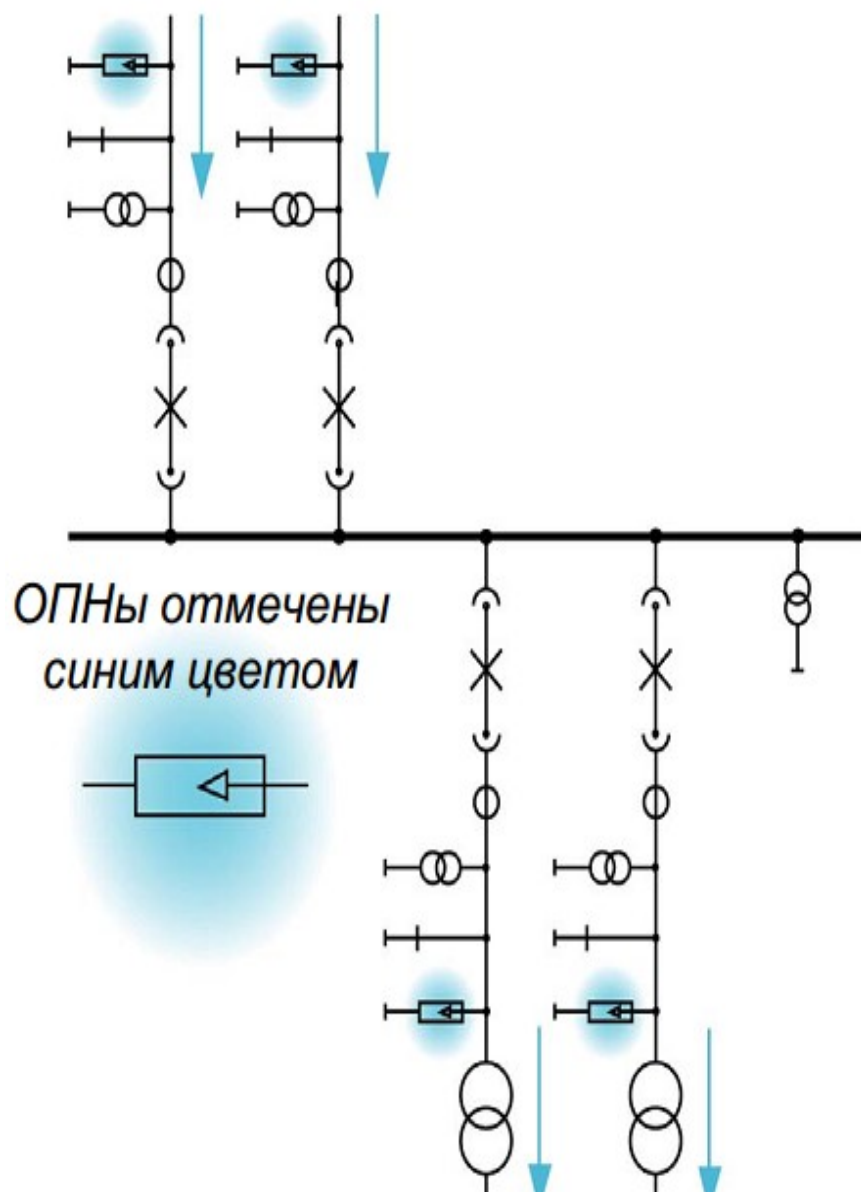
Защита от перенапряжений

■ Силовой трансформатор

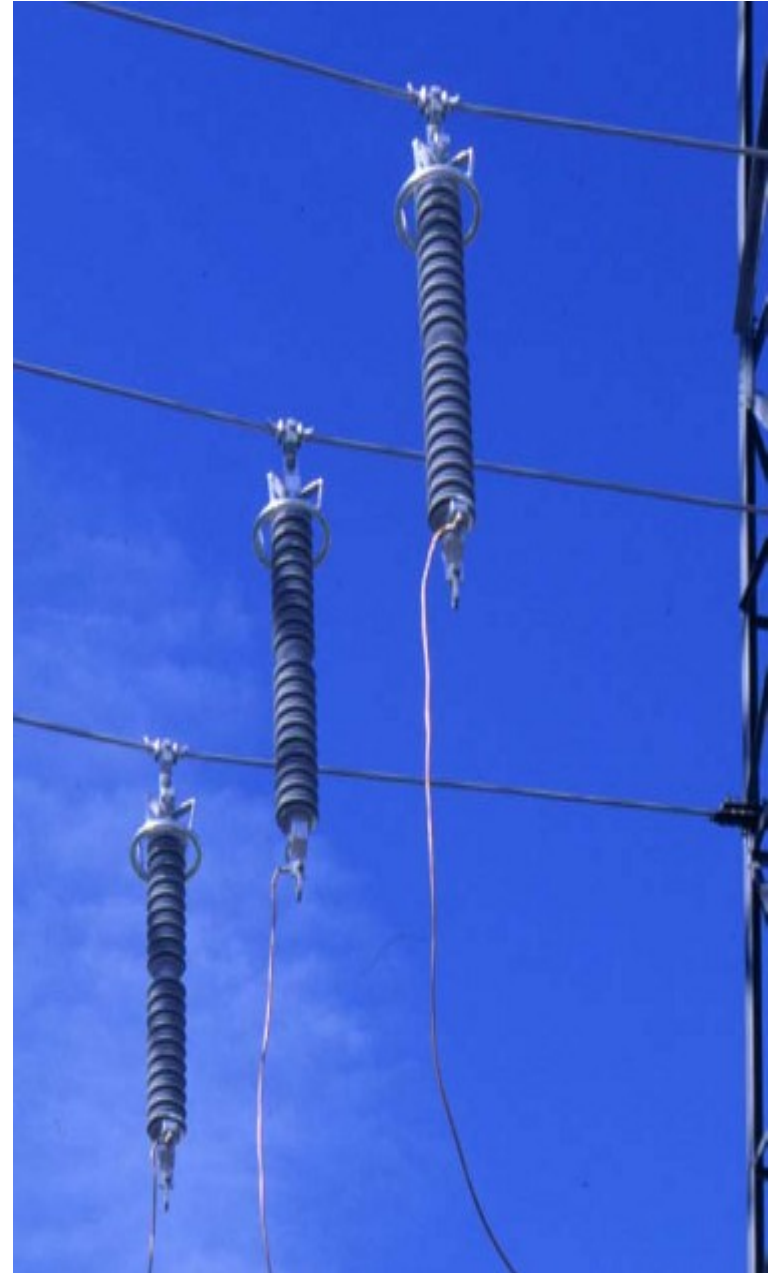
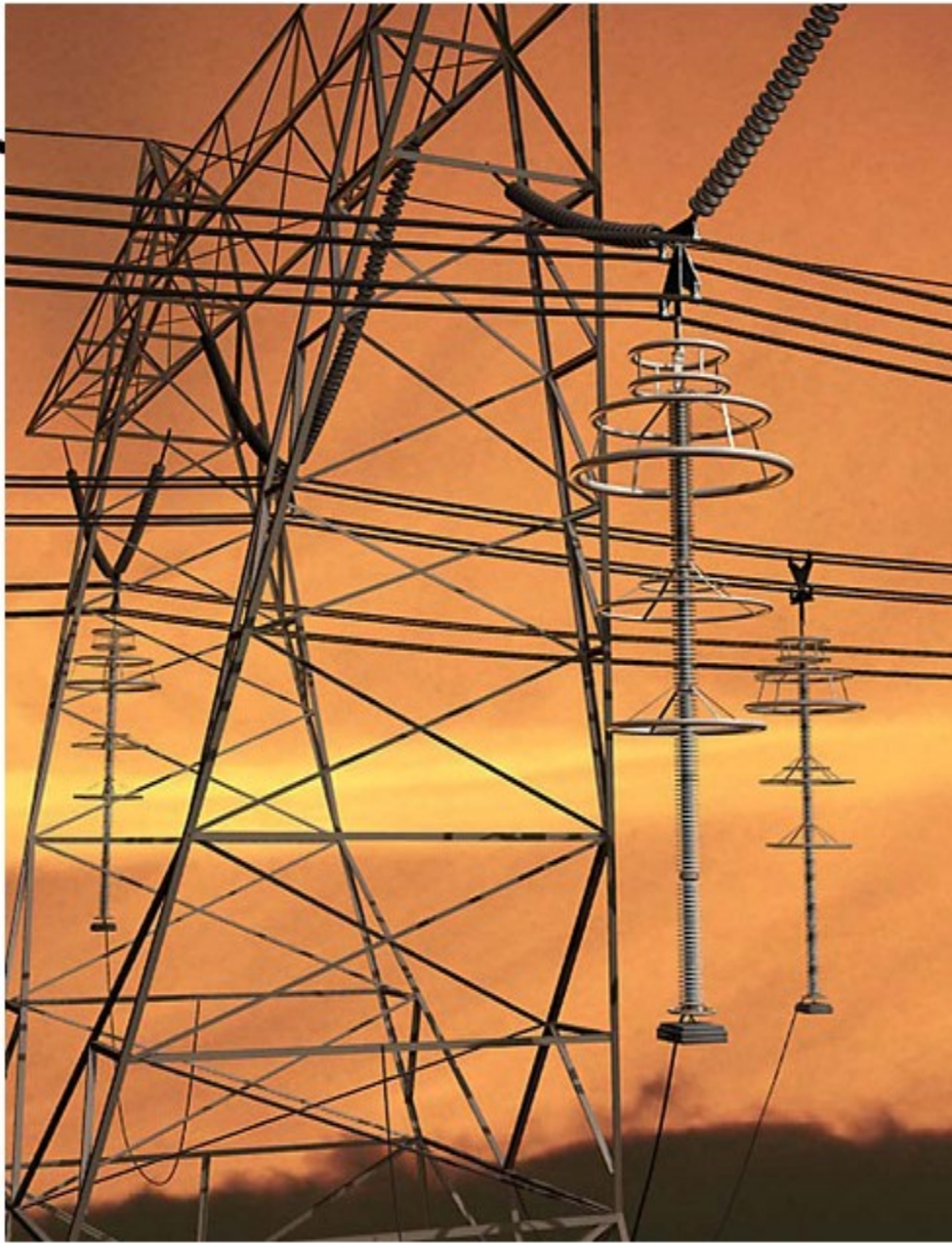
- Основной объект защиты
- ОПНы располагаются по возможности ближе к защищаемому оборудованию

■ ОПНы на отходящих линиях

- Защищают оборудование вводных ячеек (выключатели, измерительные трансформаторы)
- Повышают уровень защиты силового трансформатора
- Предотвращают повторное зажигание выключателей







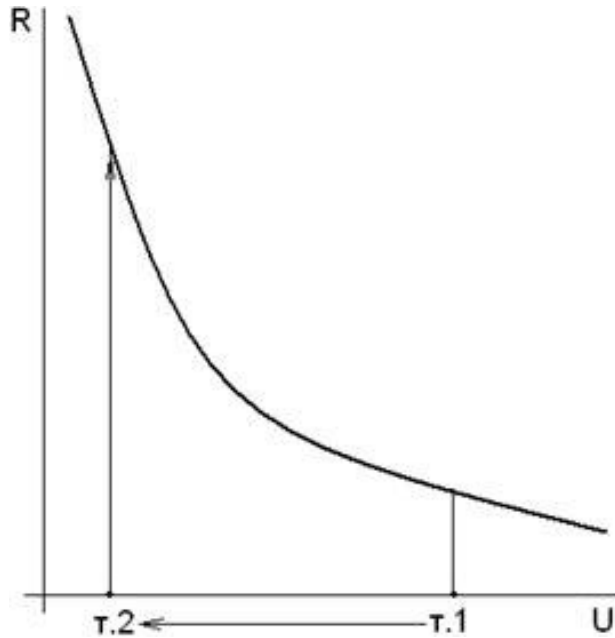
Основные типы ограничителей перенапряжения:

- **Трубчатые разрядники** (в настоящее время не выпускаются)
- **Вентильные разрядники** (нелинейный резисторный тип с искровыми промежутками, в настоящее время — карбидокремниевый тип без искровых промежутков)
- **ОПН** - ограничители перенапряжения нелинейные (металлооксидный тип без искровых промежутков)

Классы разрядников:

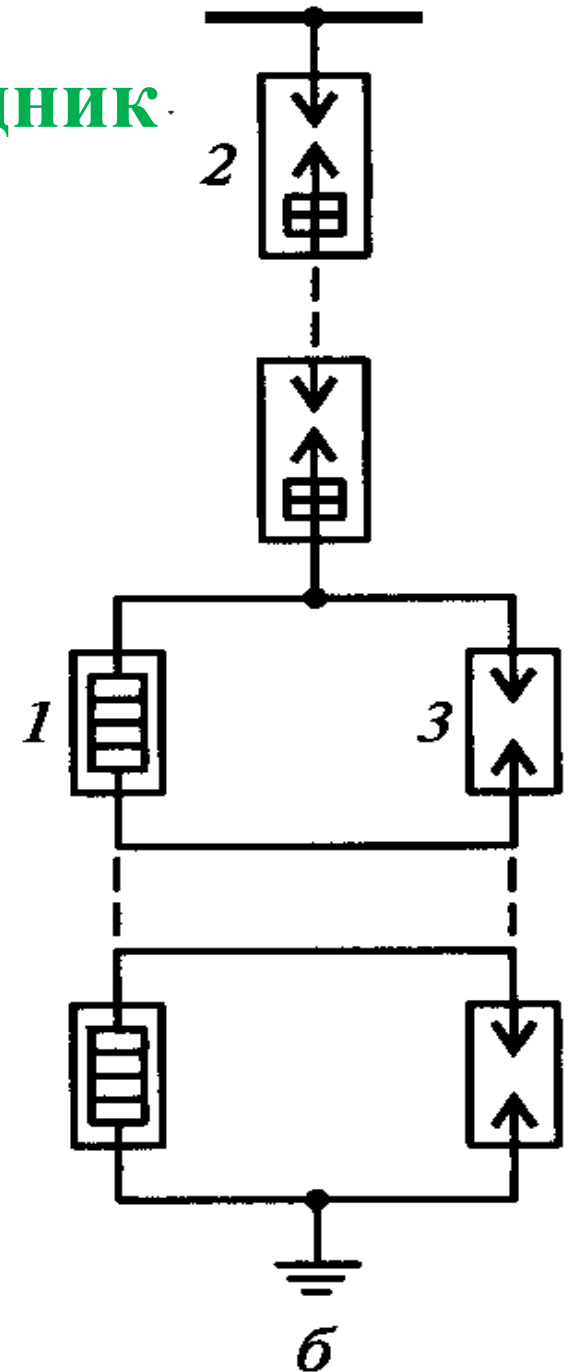
- 1) **Станционный класс.**
- 2) **Промежуточный класс.**
- 3) **Распределительный класс** (высокой, средней и малой нагрузки).
- 4) **Вспомогательный класс.**

Вентильный разрядник

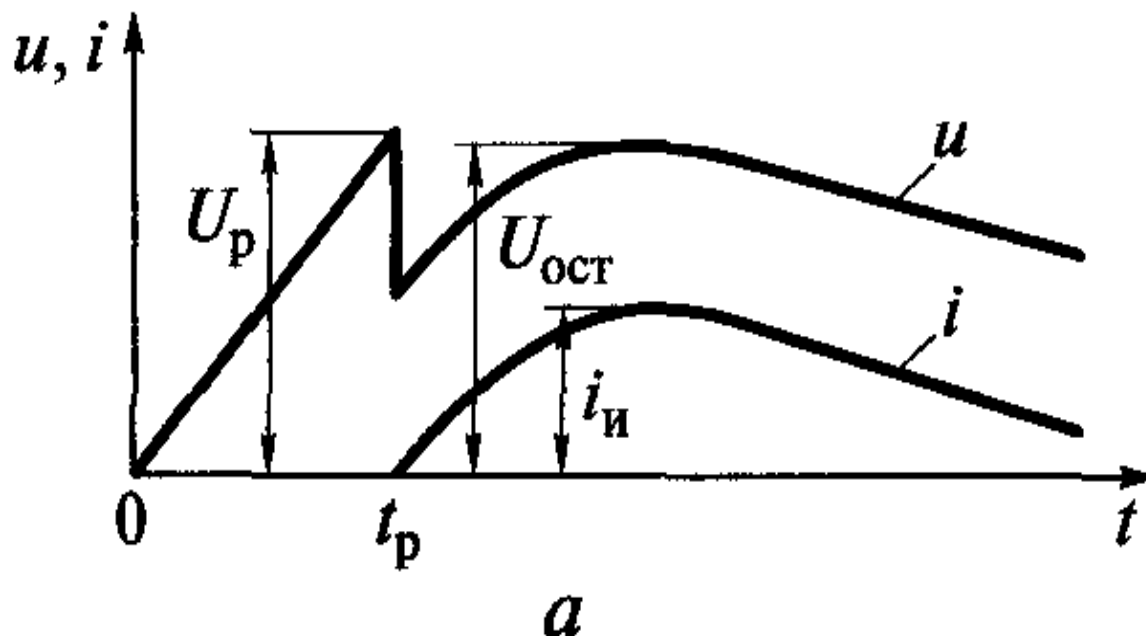


Зависимость сопротивления
варистора от приложенного
напряжения

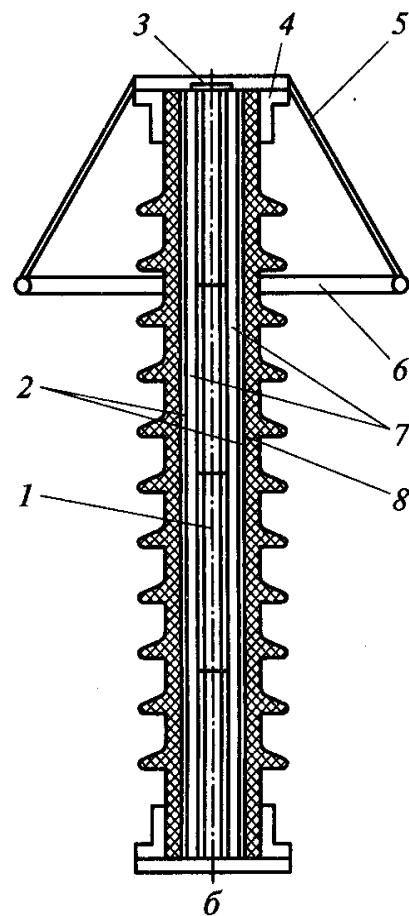
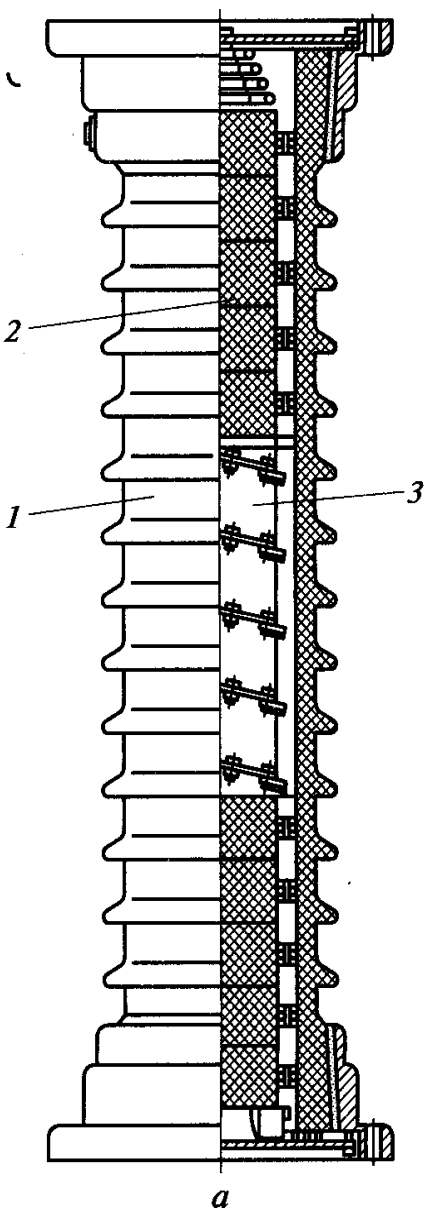
2, 3 – искровые промежутки;
1 - шунтирующие резисторы (линейные) и
конденсаторы, дающие возможность управлять
распределением напряжений различной
длительности по искровым промежуткам.



Изменение тока и напряжения на разряднике при воздействии импульса перенапряжения



U_p — напряжение пробоя разрядника;
 $U_{ост}$ - остаточное напряжение импульса;
 t_p - момент пробоя разрядников;
 $i_н$ — импульсный ток через разрядник.



а:

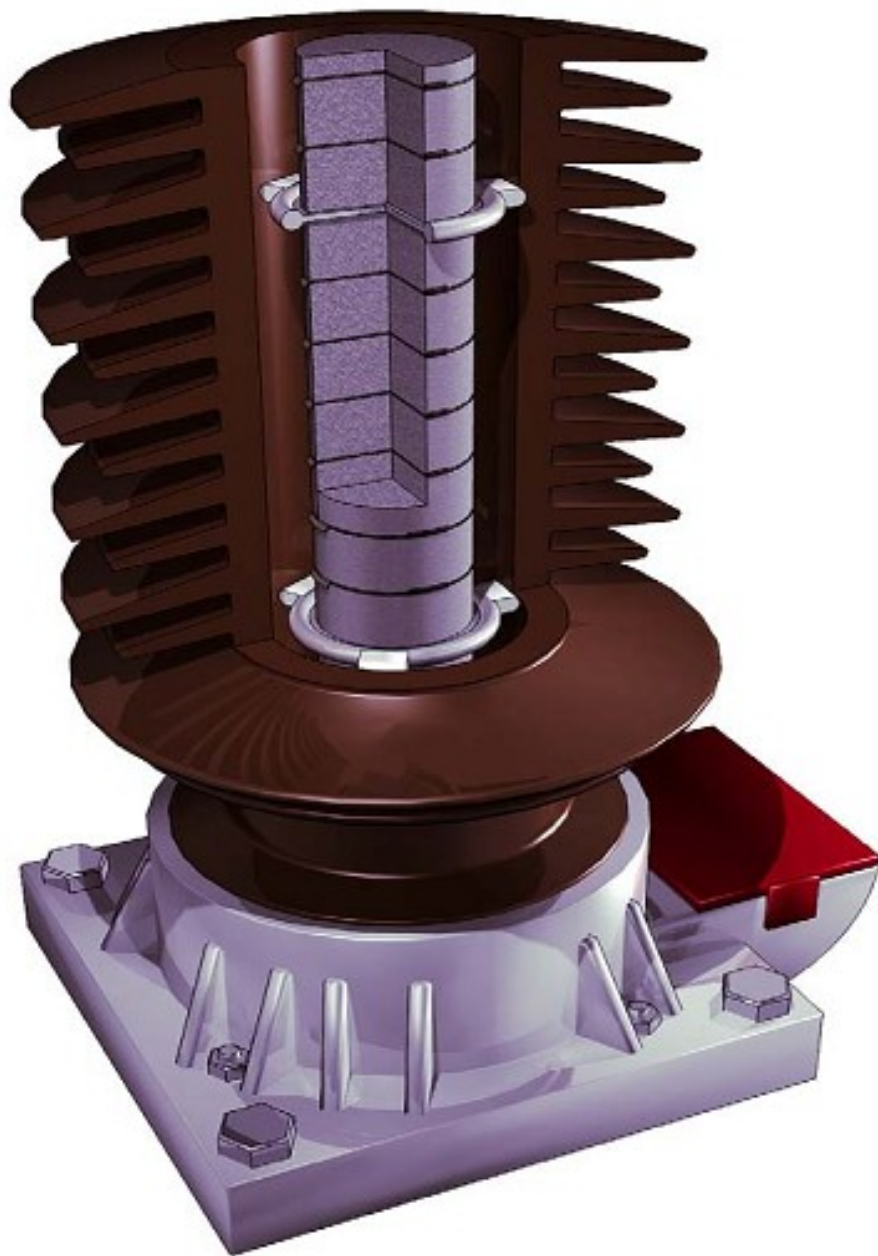
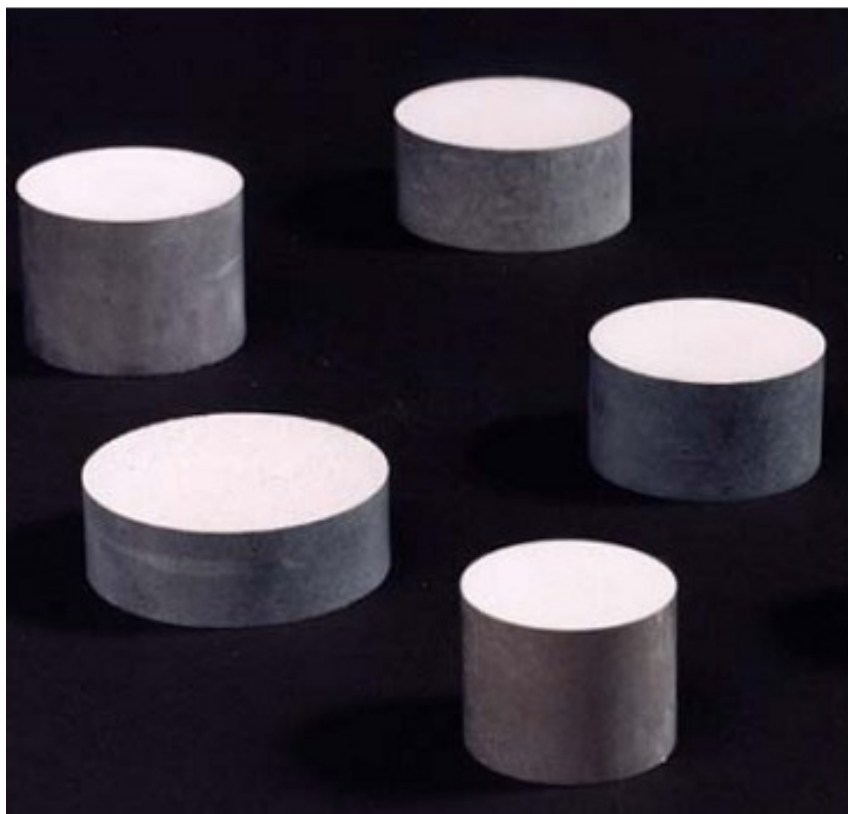
- 1 - фарфоровая крышка;
- 2 - нелинейные вилитовые резисторы;
- 3 - искровые промежутки.

б:

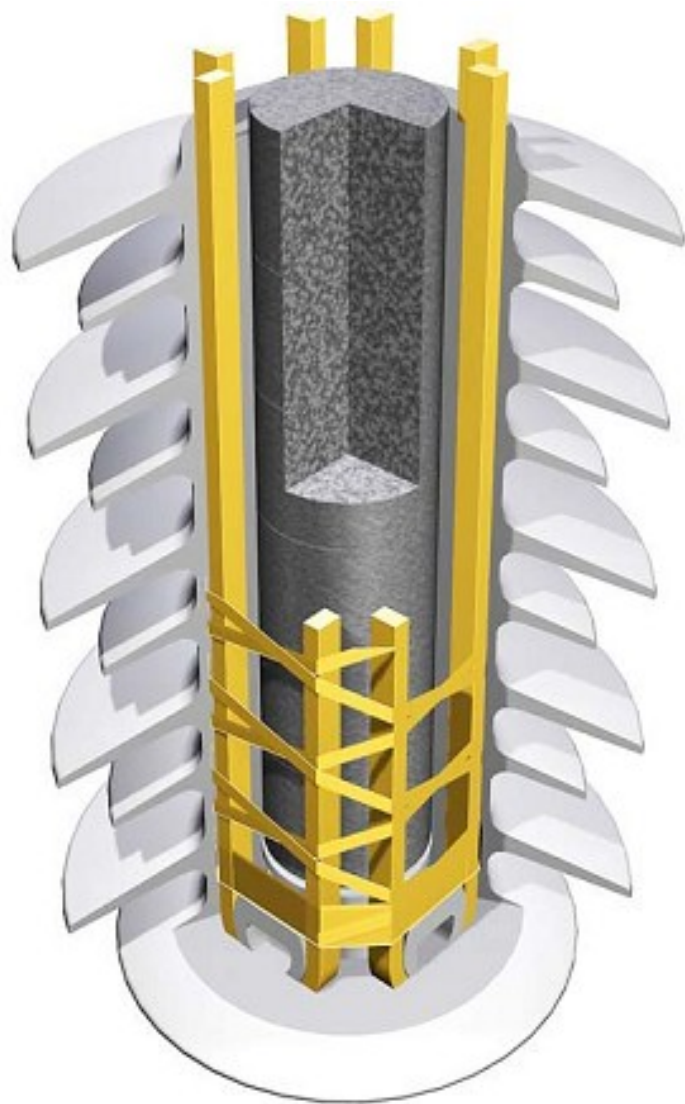
- 1 - внутренняя полость варисторов;
- 2 - фарфоровый корпус;
- 3 - герметичный клапан сброса давления;
- 4 - фланцы;
- 5,6 - тороидальный экран с держателями;
- 7 - тепловая прослойка;
- 8 - колонка нелинейных резисторов (варисторов)

а - магнитно-вентильный разрядник РВМГ;

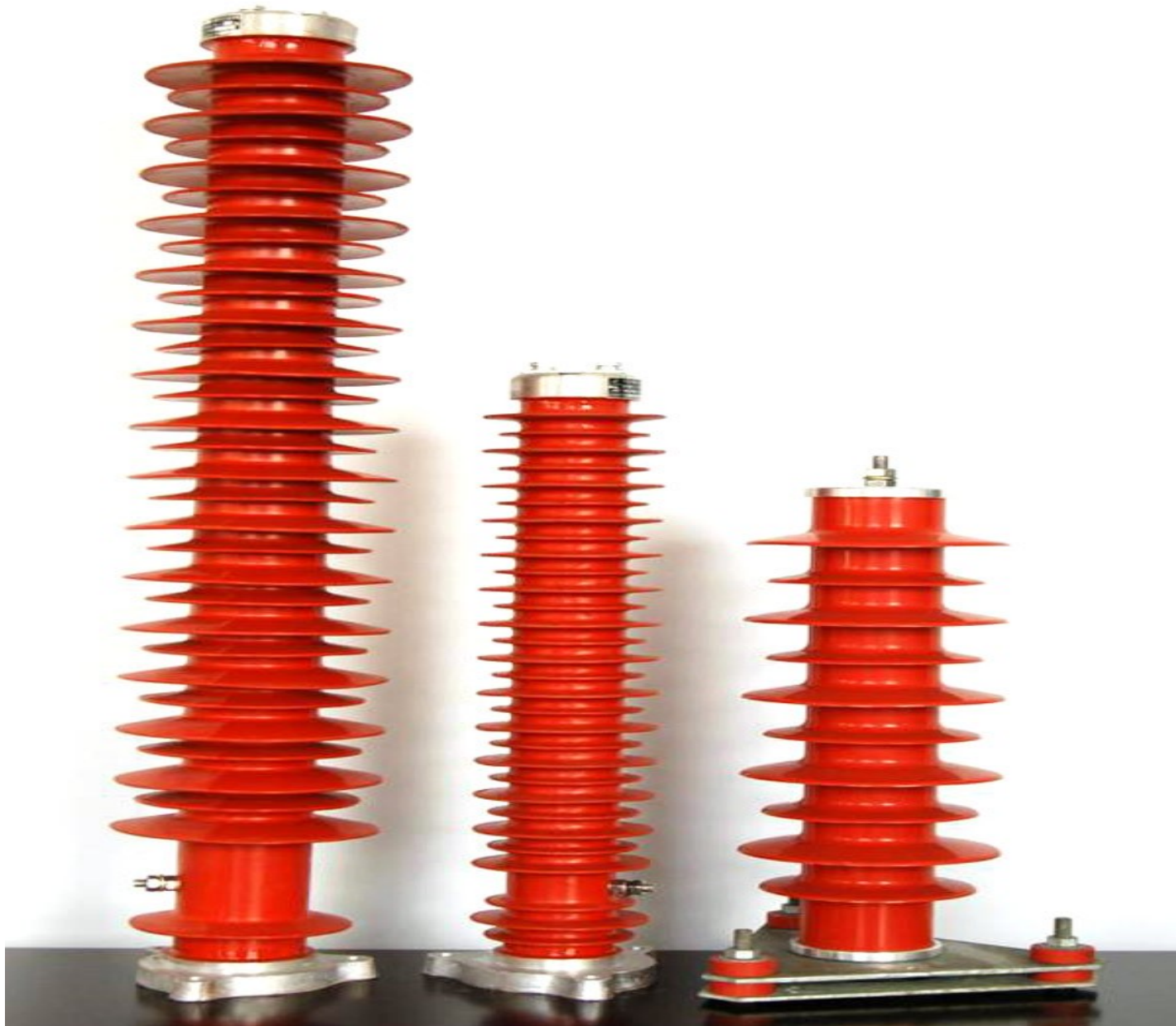
б - ОПН в фарфоровом корпусе

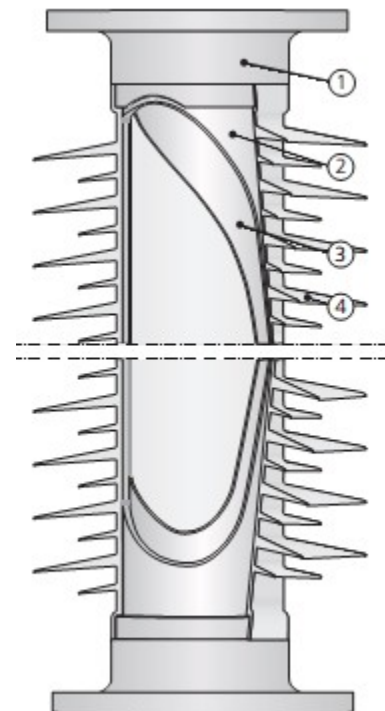


Молдинговое литье на активных частях

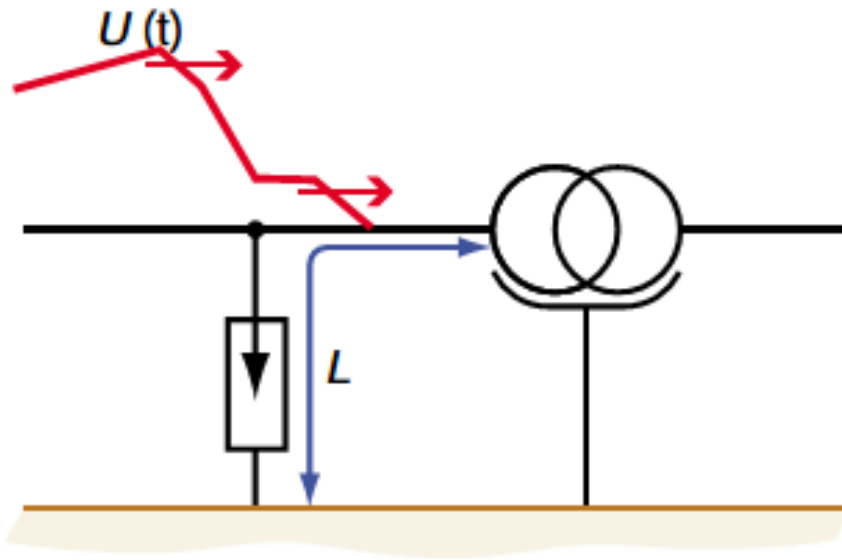


- Надежная герметизация активных элементов
- Полное отсутствие воздуха между варисторами и крышкой
 - Внутренние частичные разряды отсутствуют
 - Попадание воды исключено
- Отличная теплопередача





- 1. Металлический фланец.**
- 2. Армированная стекловолокном эпоксидная трубка.**
- 3. Внутренняя облицовка.**
- 4. Покрышка с юбками из силиконовой резины.**



$$L = \frac{U_{BIL} - U_p}{2S} V$$

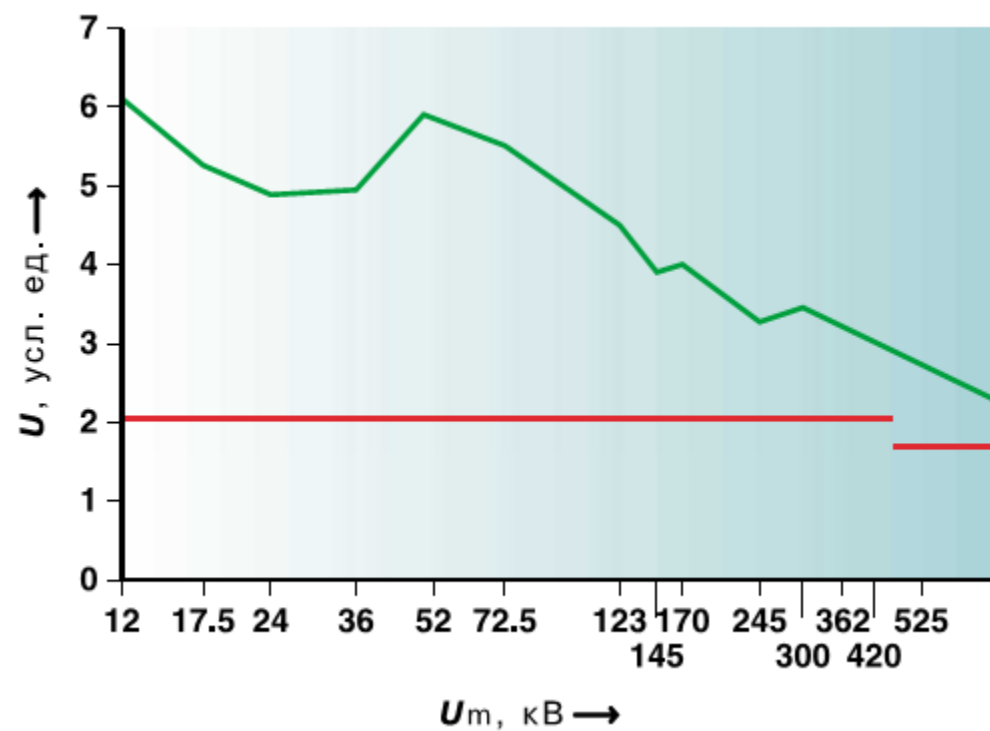
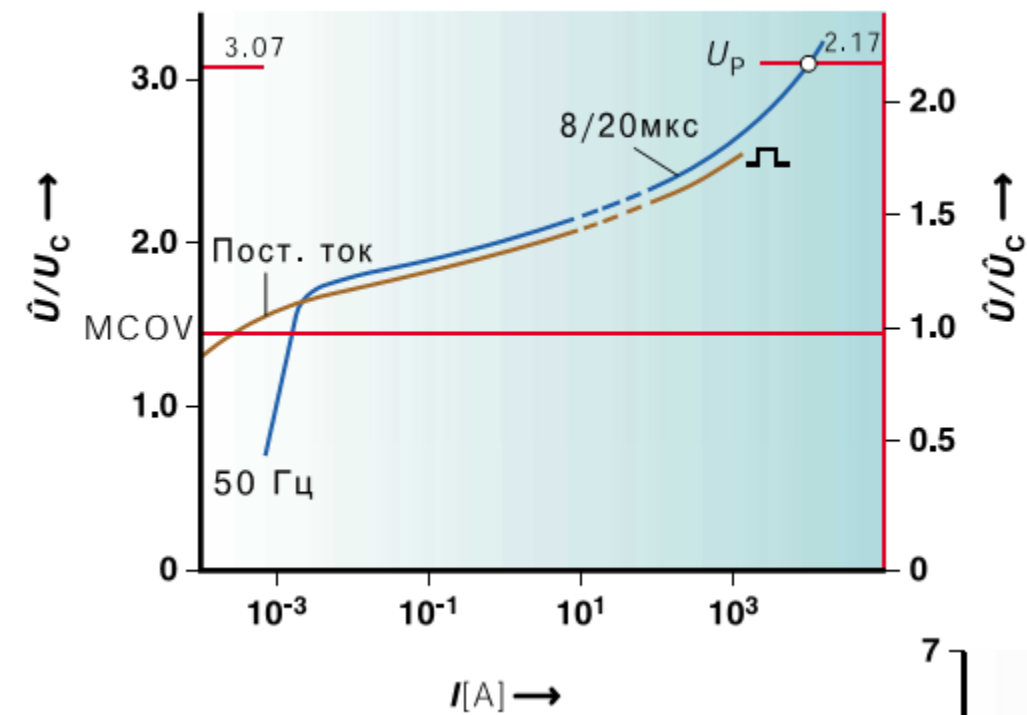
L – защитное расстояние.

U_p – остаточное напряжение.

S – крутизна волны перенапряжения (около 1200 кВ/мкс).

U_{BIL} – основной уровень прочности изоляции защищаемого устройства (например, трансформатора).

V – скорость распространения волны перенапряжения (около 300 м/мкс в случае ЛЭП и около 150 м/мкс в случае КЛ).



Выбор и применение

Цель применения разрядника – выбрать устройство с самым низким порогом перенапряжения, которое бы обеспечивало надлежащую защиту изоляции оборудования и, будучи подключенным к энергосистеме, имело удовлетворительный номинальный срок службы.

Разрядники с минимальным порогом срабатывания обеспечивают наивысший уровень защиты изоляции оборудования.

Высокий порог срабатывания увеличит срок службы разрядника на конкретной энергоустановке, но снизит степень защиты изоляции оборудования.

При выборе ограничителя перенапряжения необходимо принять во внимание оба момента – и срок эксплуатации разрядника, и безопасность оборудования.

Разрядник устанавливают как можно ближе к защищаемому оборудованию (в щите рядом с щитом защищаемого оборудования), т.к. по волновой теории падающая и отраженная волна направляются в узловую точку (или щитовую защищаемого оборудования).

Длина проводов для заземления соединения ограничителей перенапряжения с терминалами оборудования должна быть минимальной. Провода необходимо прокладывать прямо, по возможности избегая изгибов. Этим гарантируется, что всплеск энергии уйдет в землю по самому короткому пути. Увеличение длины провода снизит защитную способность ограничителя перенапряжения в связи с дополнительным сопротивлением в проводе.

Выбор ограничителя перенапряжения

Необходимо принять во внимание основные моменты:

- **Постоянное напряжение сети**
- **Временные перенапряжения**
- **Коммутационные перенапряжения (чаще всего для конденсаторных батарей, кабелей, а также для передачи напряжения 345 кВ и выше)**
- **Грозовые перенапряжения**
- ***Конфигурацию системы (заземлена или не заземлена/заземление с изолированной нейтралью; звезда или треугольник, тип подключения разрядника (линейное или фазное))**