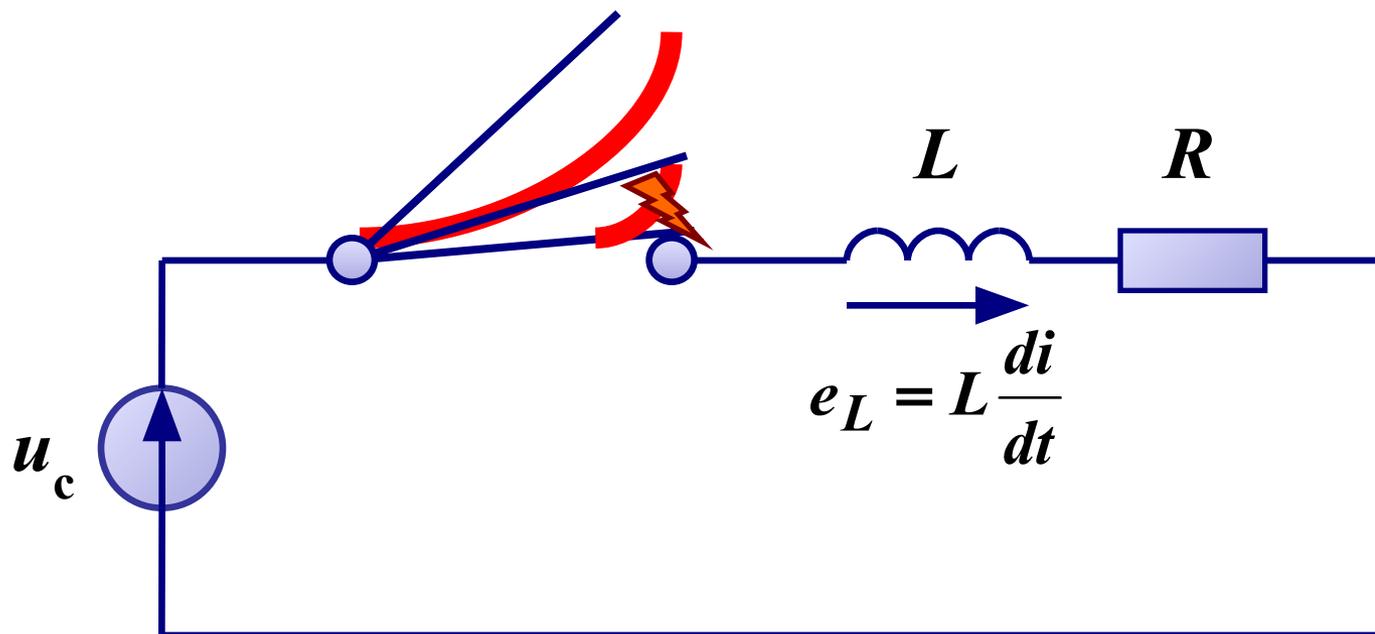


**4. Отключение цепей
переменного и постоянного
тока.
Коммутационные аппараты**

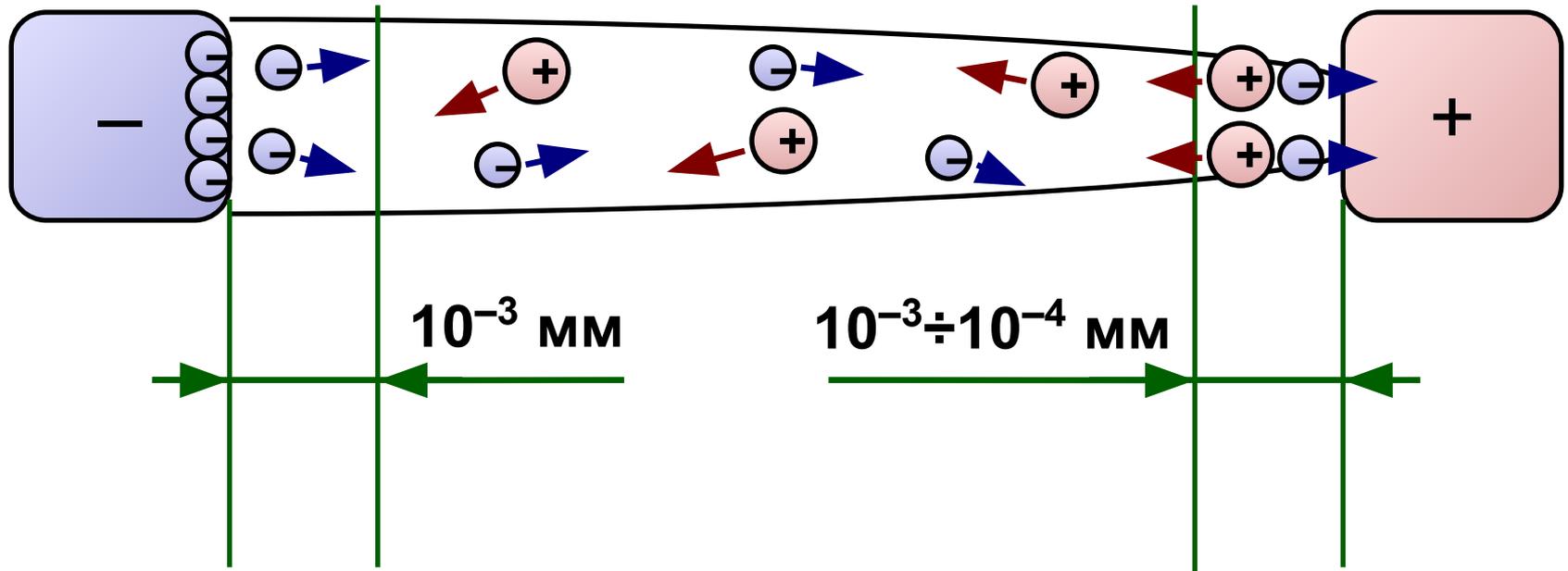


Возникновение дуги при отключении электрической цепи



4.1 Физические процессы в дуговом промежутке

Участки электрической дуги

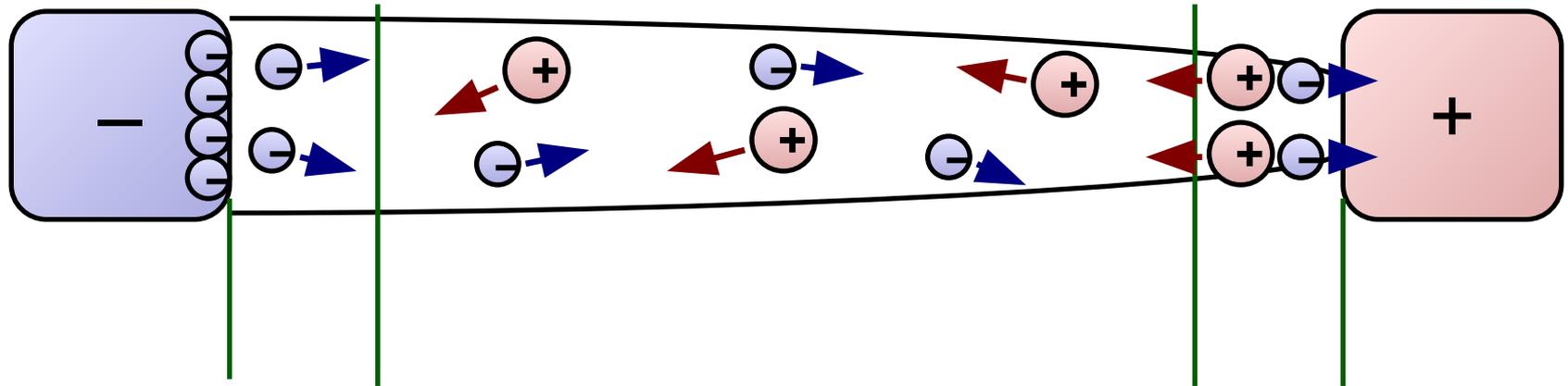


Область
катодного
падения
напряжения

Ствол дуги

Область
анодного
падения
напряжения

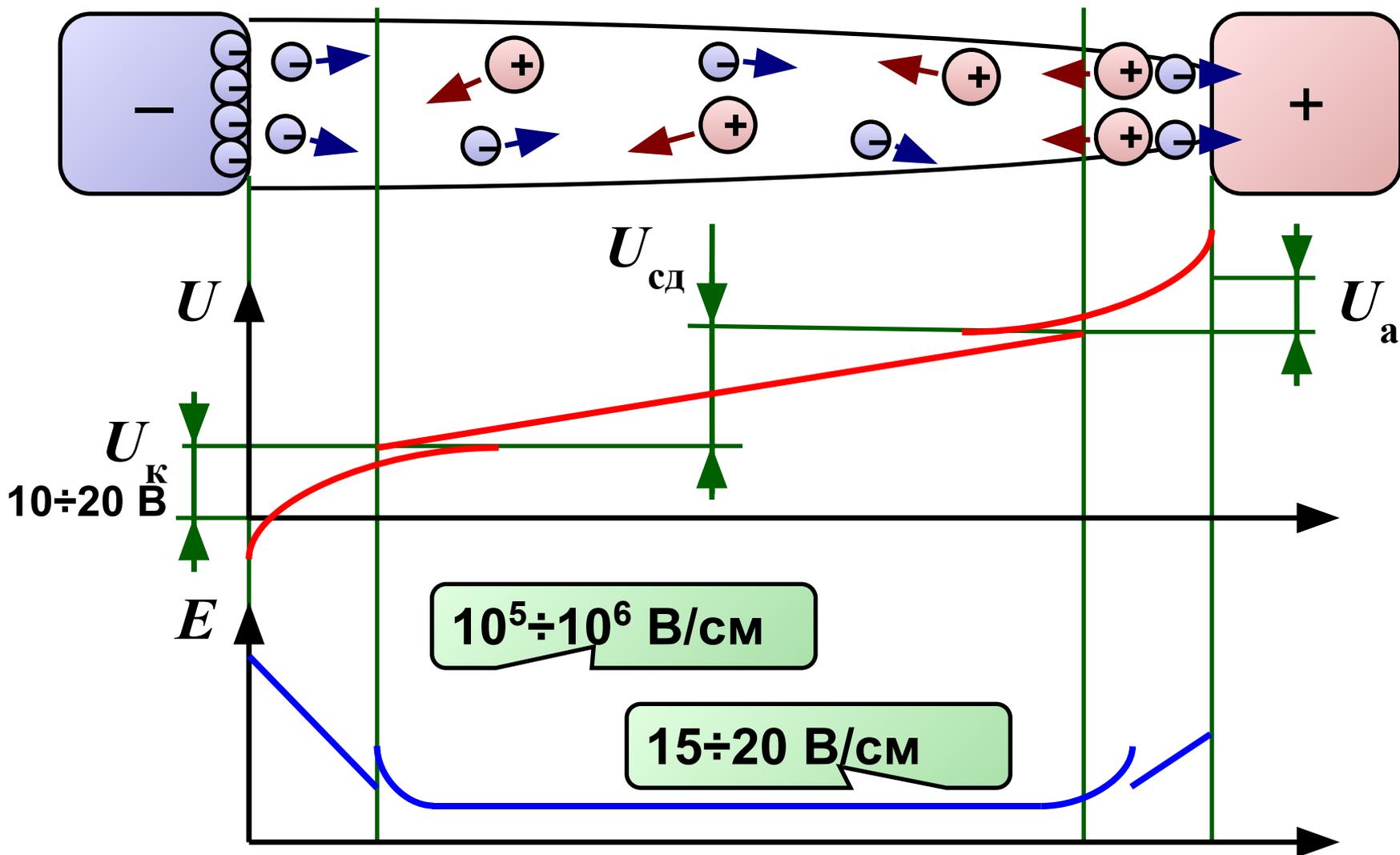
Физические процессы в дуговом промежутке



- Термоэлектронная эмиссия
- Автоэлектронная эмиссия
- Ударная ионизация

- Термическая ионизация (температура ствола дуги более 6000 К)
- Рекомбинация
- Диффузия

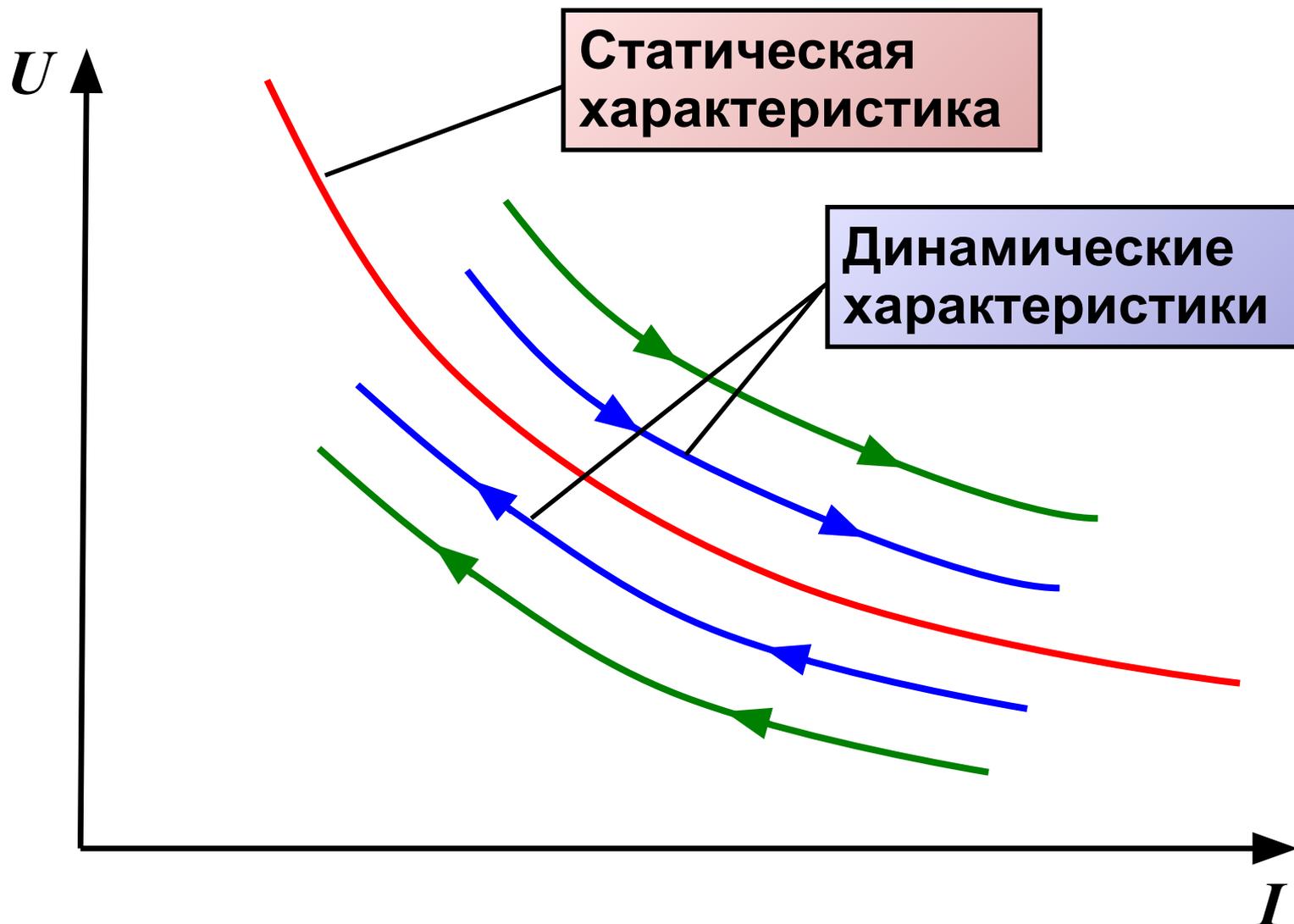
Распределение напряжения и напряженности электрического поля в дуге



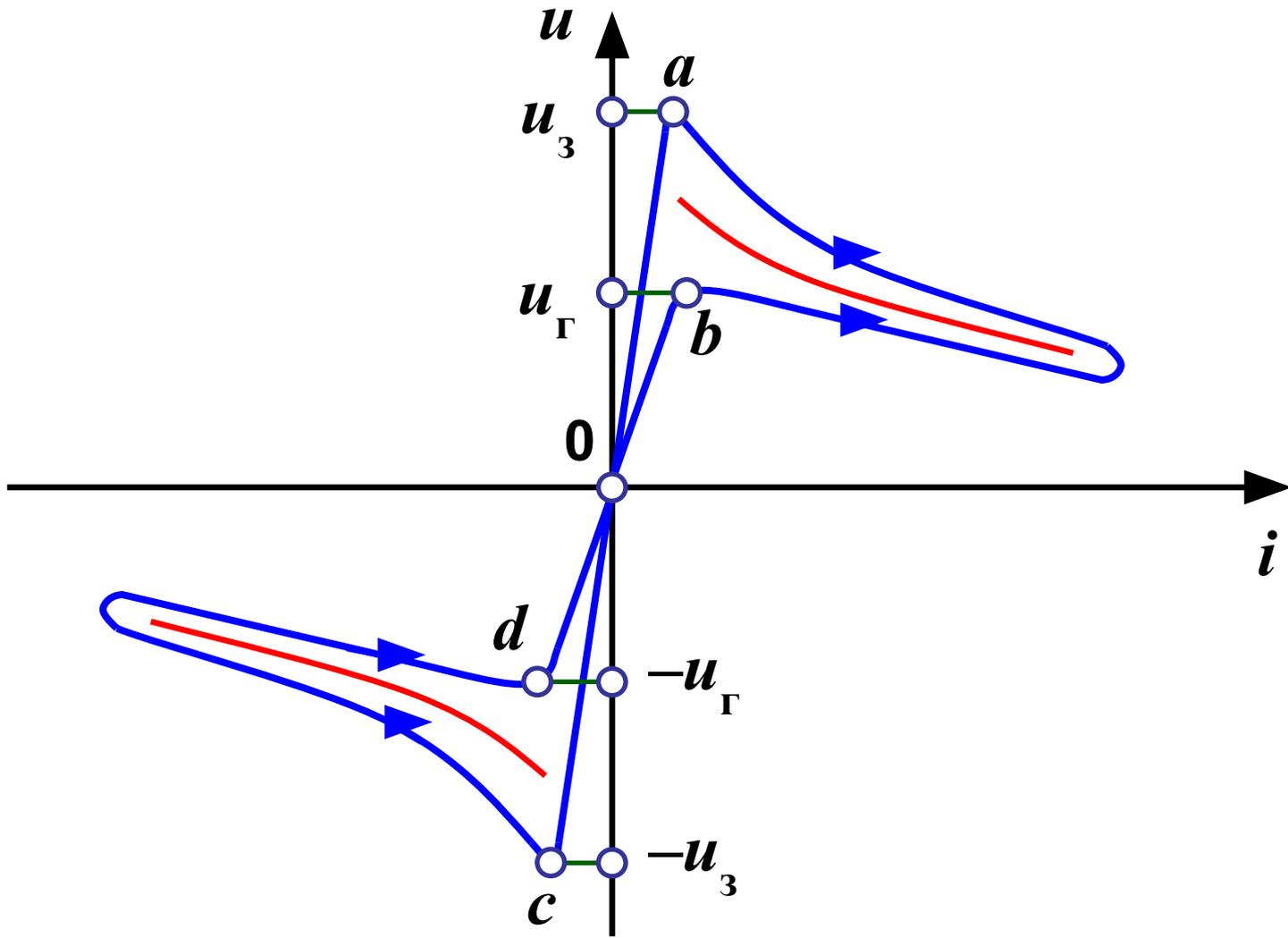
Условие погасания дуги при постоянном токе

$$u_{\text{д}} > u_{\text{с}}$$

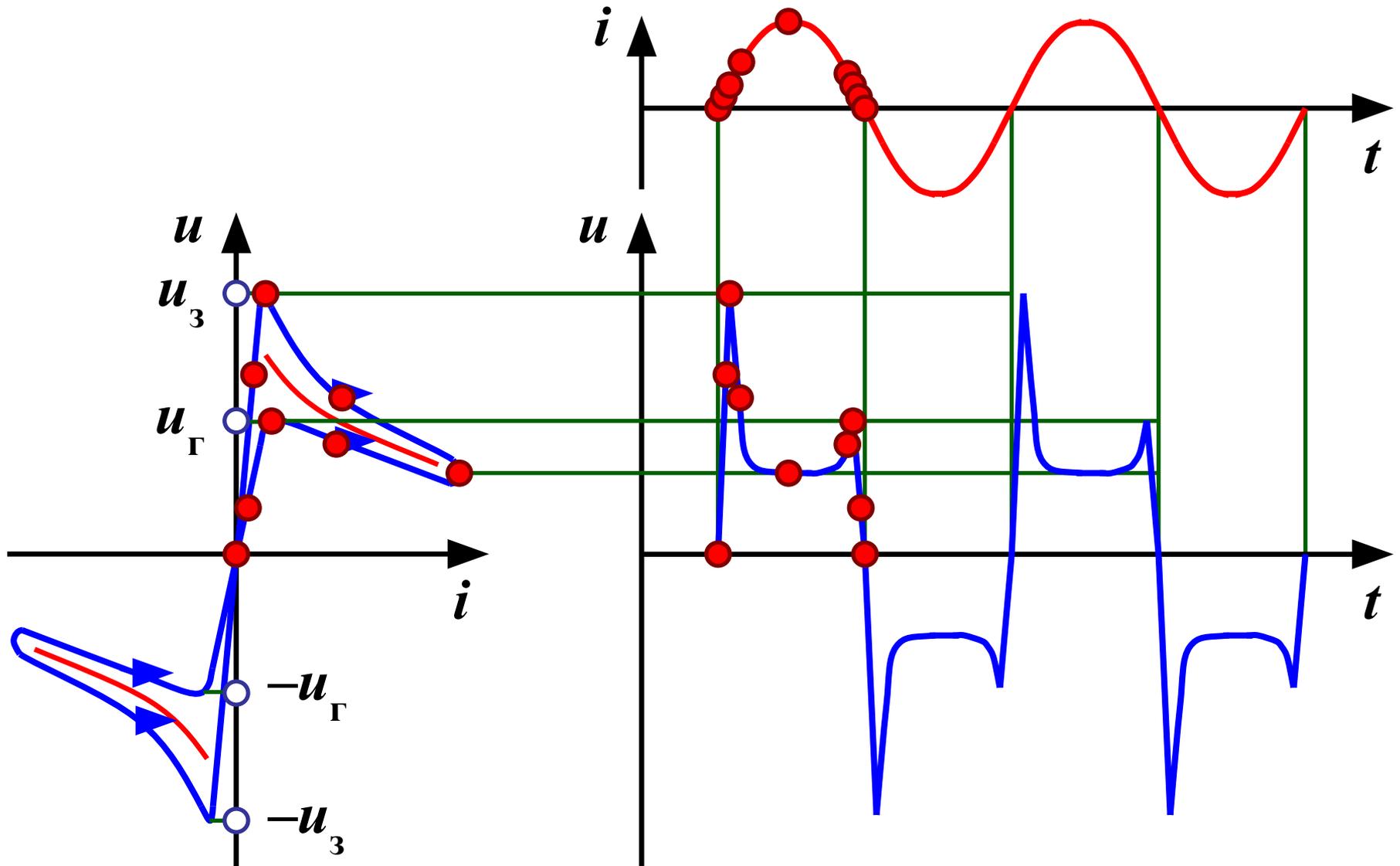
Вольт-амперные характеристики дуги при постоянном токе



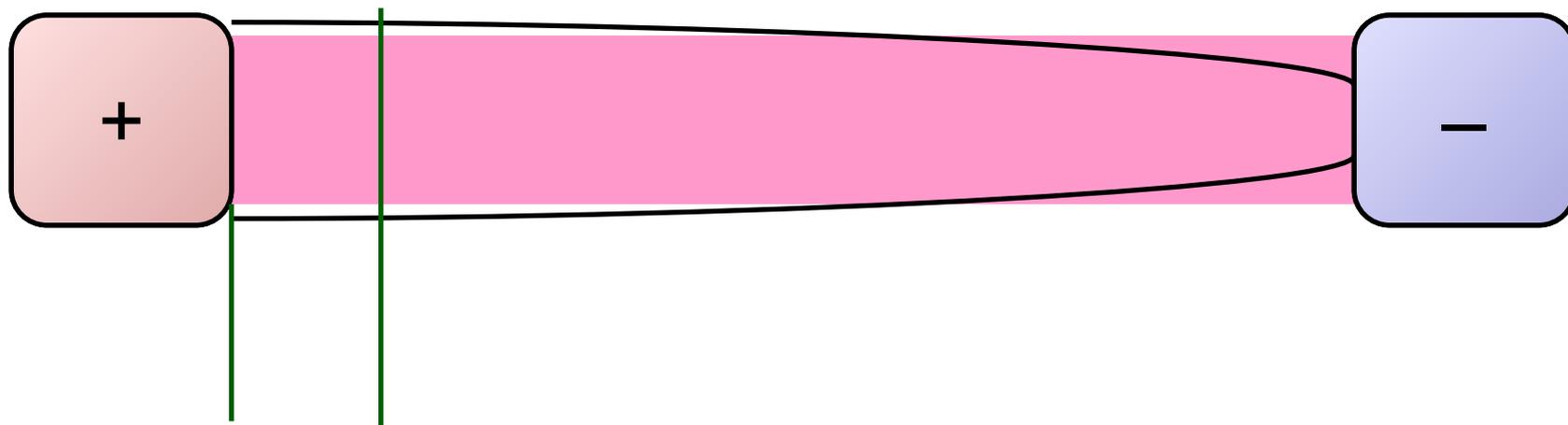
Вольт-амперная характеристика дуги при переменном токе



Напряжение на дуге при переменном токе



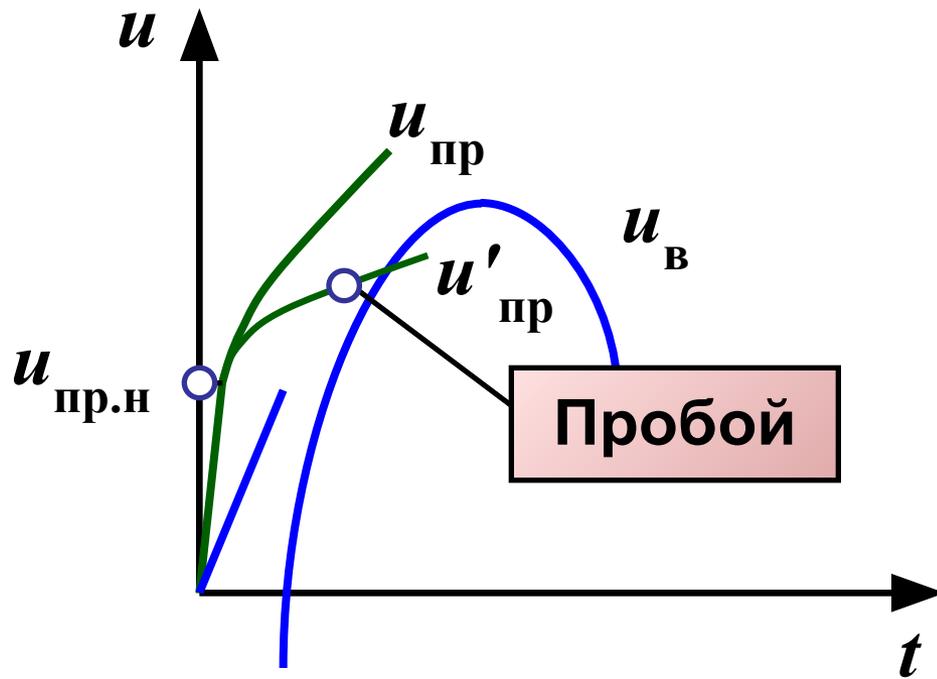
Особенности гашения дуги при переменном токе



Электрическая прочность:

- 300 В при отключении тока 5А;
- 150 В при отключении тока 100 А.

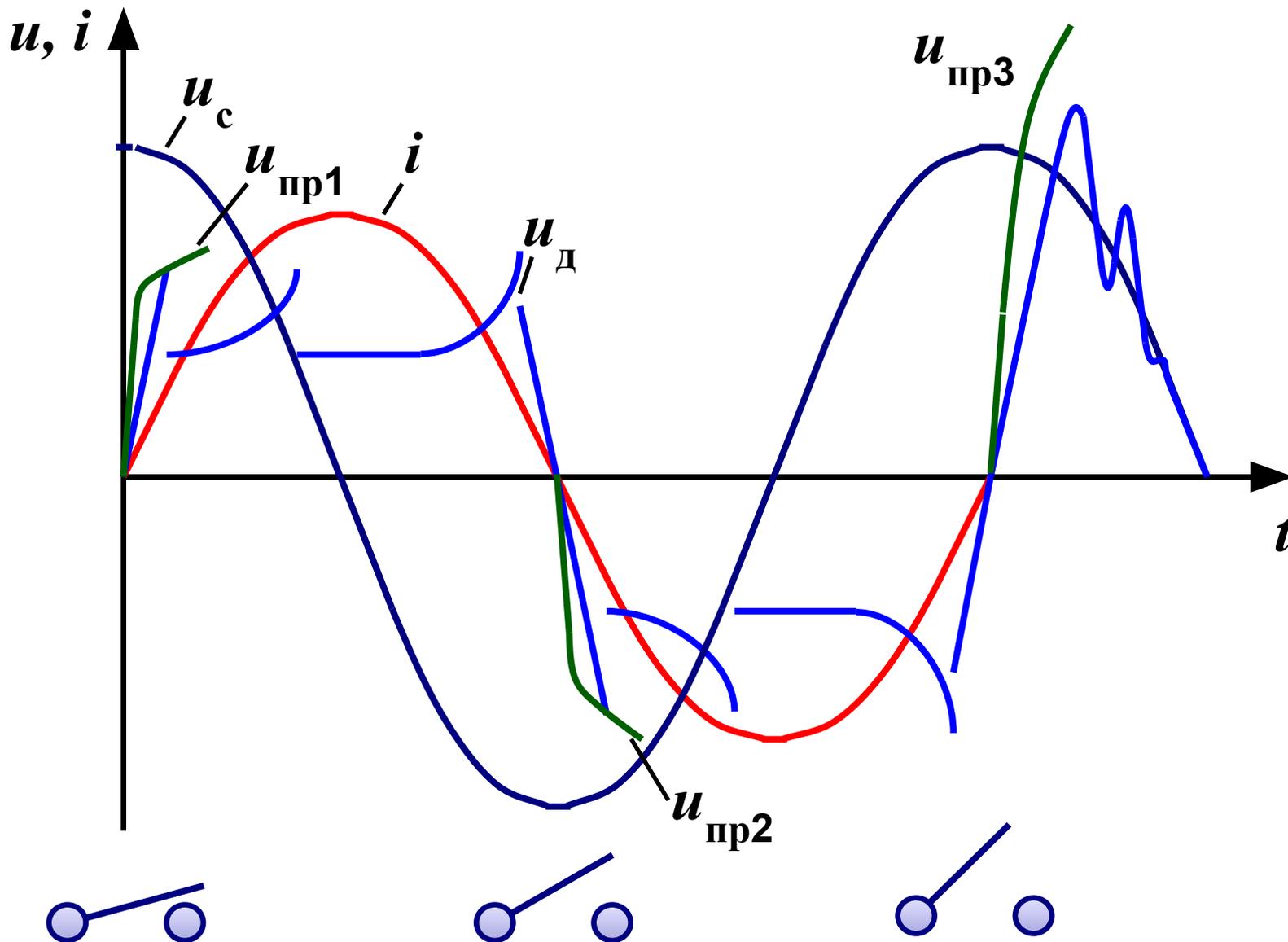
Условие погасания дуги при переменном токе



$$u_{\text{пр}} > u_{\text{в}}$$

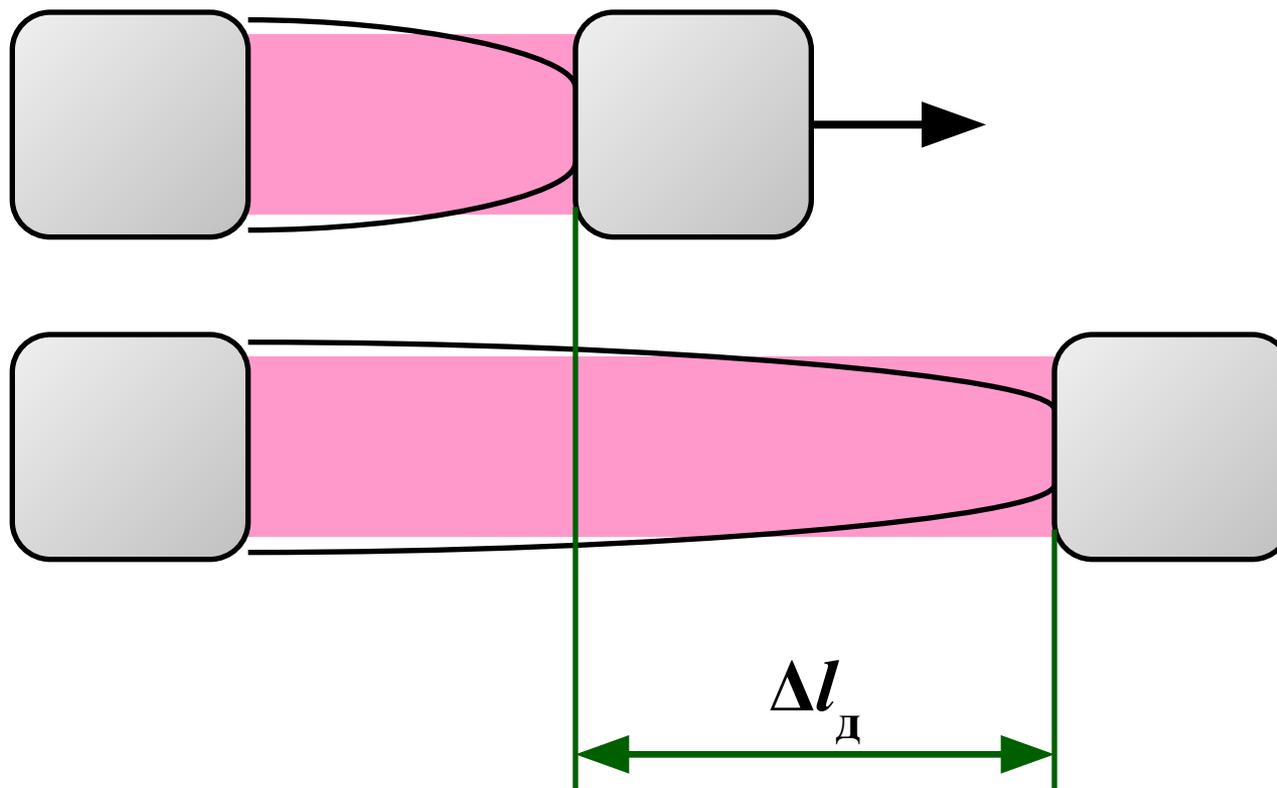
$$u_{\text{пр.н}} = 150 \div 300 \text{ В}$$

Изменение напряжения при гашении дуги переменного тока



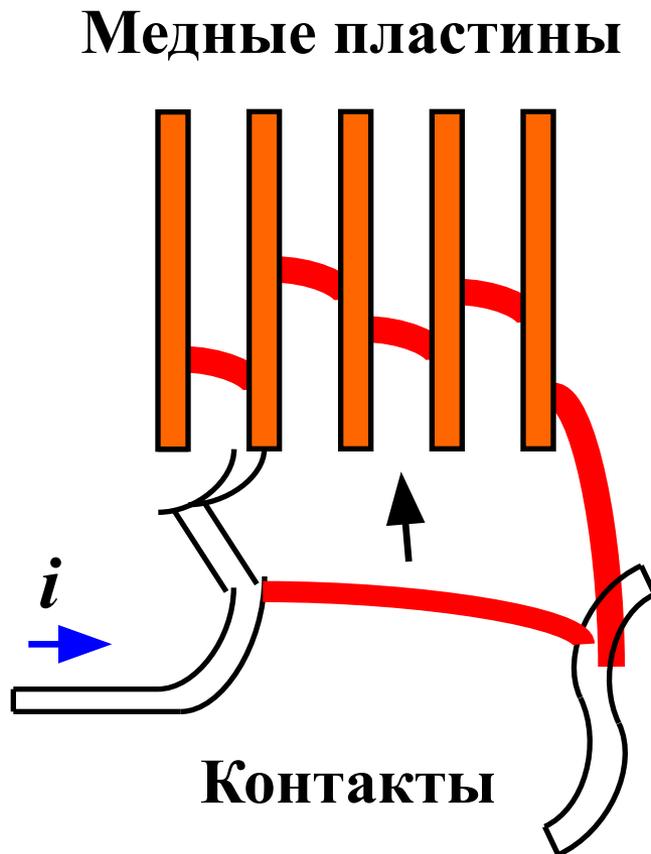
4.2 Способы гашения дуги

Удлинение дуги при быстром расхождении контактов



$$\Delta u_{\text{д}} = (15 \div 20 \text{ В/см}) \cdot \Delta l_{\text{д}}$$

Деление длинной дуги на ряд коротких



$$u_{\text{д}} = u_{\text{к}} + u_{\text{а}} + u_{\text{сд}}$$

Постоянный ток

$$u_{\text{к}} + u_{\text{а}} = 20 \div 50 \text{ В}$$

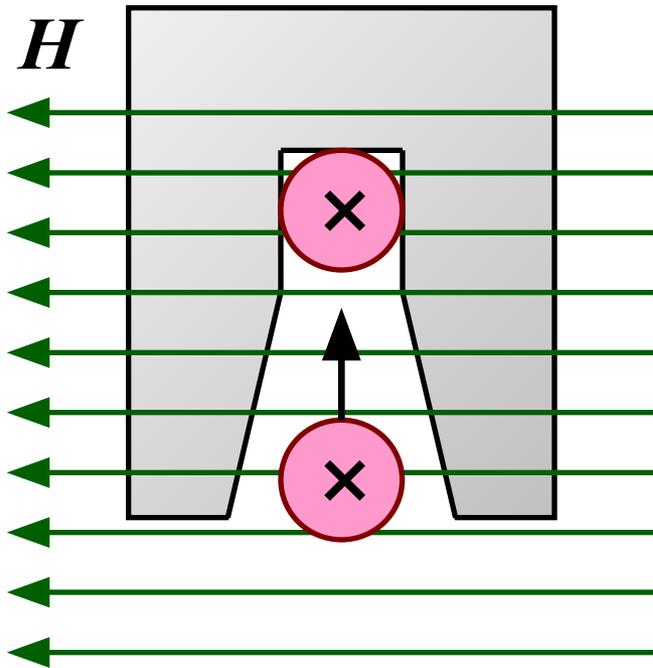
$$u_{\text{д}\Sigma} = n(20 \div 50 \text{ В}) > u_{\text{с}}$$

Переменный ток

$$u_{\text{пр.к}} = 150 \div 300 \text{ В}$$

$$u_{\text{пр.}\Sigma} \approx nu_{\text{пр.к}} > u_{\text{в}}$$

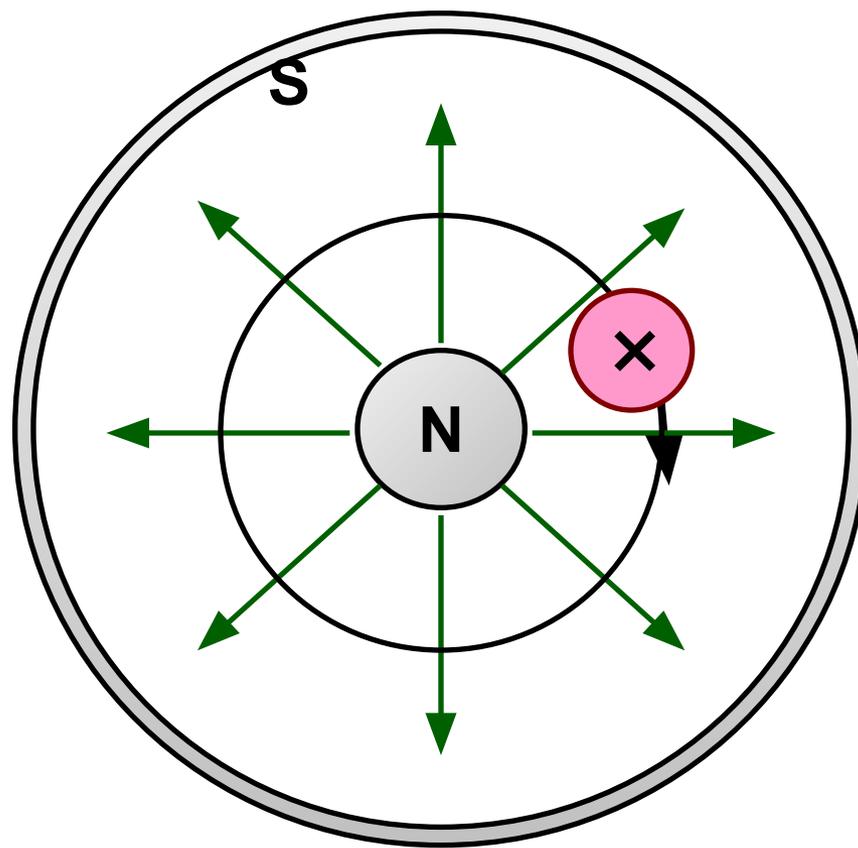
Затягивание дуги в узкую щель дугогасительной камеры



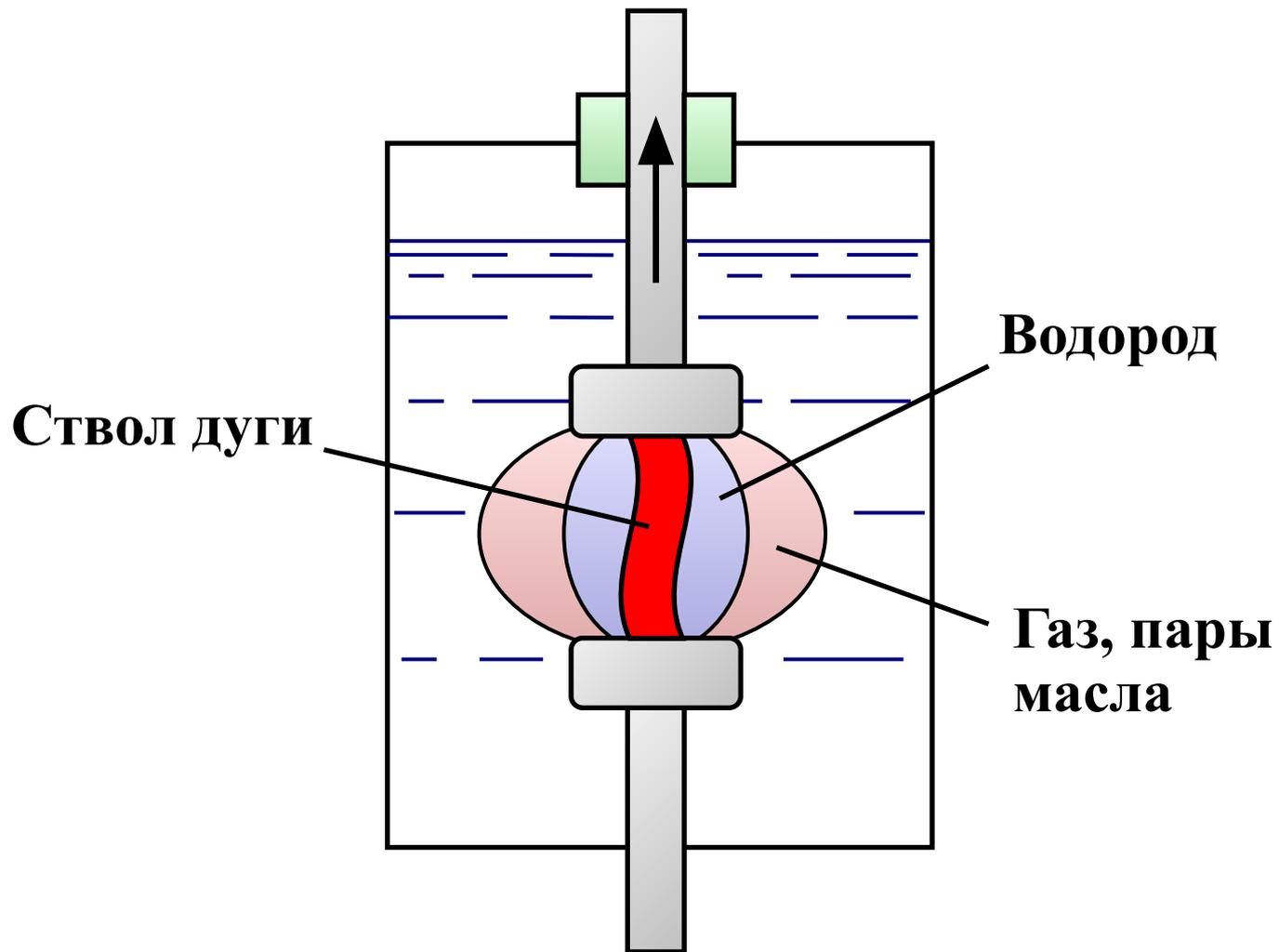
Создание магнитного поля:

- постоянные магниты;
- специальные катушки;
- контур токоведущих частей.

Вращение дуги в радиальном магнитном поле

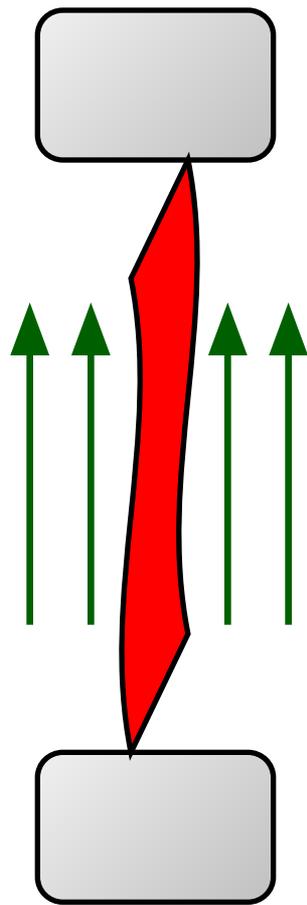


Гашение дуги в масле

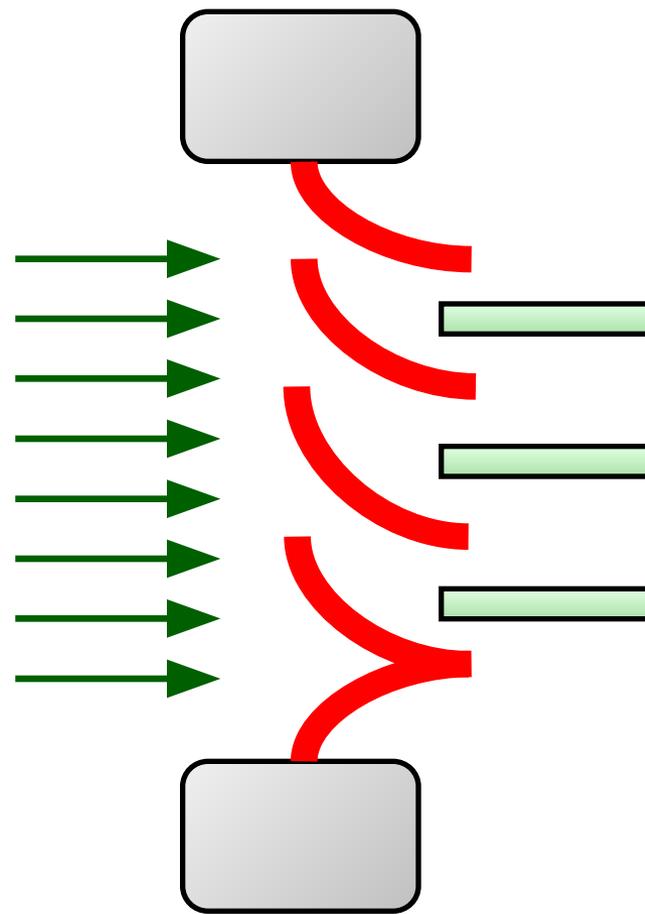


Обдувание дуги газами: воздухом, элегазом (SF_6)

Продольное дутьё



Поперечное дутьё



Другие способы гашения дуги

- **Многokратный разрыв цепи тока**
- **Гашение дуги в вакууме**
- **Гашение дуги в газах высокого давления**

4.3 Высоковольтные выключатели

Высоковольтный выключатель

коммутационный аппарат, предназначенный для включения и отключения тока

служит для отключения и включения цепи в любых режимах:

- **длительная нагрузка;**
- **перегрузка;**
- **короткое замыкание;**
- **холостой ход;**
- **несинхронная работа.**

Требования к выключателям

- надежное отключение любых токов (от 0 до номинального тока отключения);
- быстрота действия;
- пригодность для быстродействующего АПВ;
- возможность пофазного управления для 110 кВ и выше;
- легкость ревизии и осмотра контактов;
- взрыво- и пожаробезопасность;
- удобство транспортировки и эксплуатации.

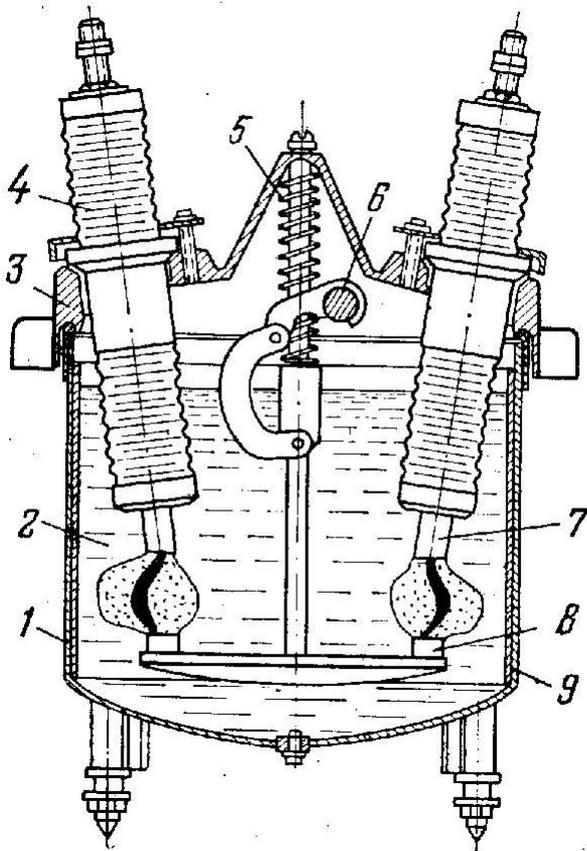
Классификация выключателей по роду установки

- для наружной установки;
- для внутренней установки;
- для комплектных распределительных устройств.

Классификация выключателей по устройству и способу гашения дуги

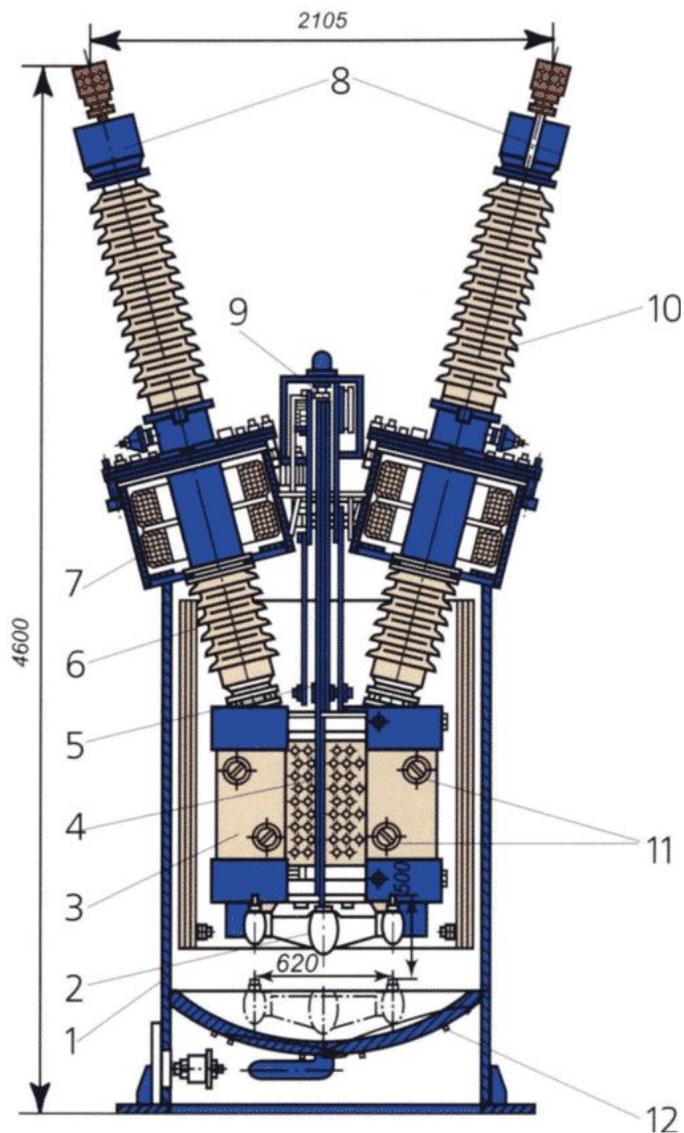
- **масляные:**
 - баковые (многообъемные);
 - маломасляные (малообъемные, горшковые);
- **воздушные;**
- **вакуумные;**
- **элегазовые;**
- **электромагнитные;**
- **автогазовые.**

Масляные баковые выключатели



1. стальной бак
2. масло
3. крышка
4. проходной изолятор
5. отключающая пружина
6. вал выключателя
7. неподвижные контакты
8. подвижные контакты
9. изоляция стенок бака

Масляный баковый выключатель У-110



1. бак;
2. траверса;
3. дугогасительная камера;
4. шунтирующий резистор;
5. направляющее устройство;
6. изоляция бака;
7. трансформатор тока;
8. маслоуказатель;
9. приводной механизм;
10. ввод маслonaполненный;
11. выхлопное отверстие (сопло);
12. устройство подогрева масла.

Разрез дугогасительной камеры выключателя МКП-35



Достоинства и недостатки масляных баковых выключателей

Достоинства:

- простота конструкции;
 - высокая отключающая способность;
 - пригодность для наружной установки;
 - возможность установки встроенных ТТ.
-

Недостатки:

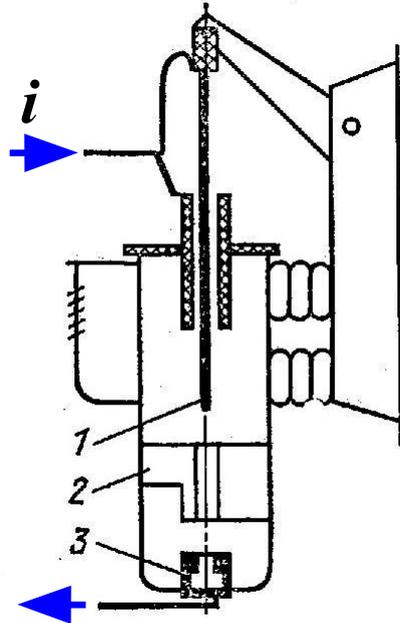
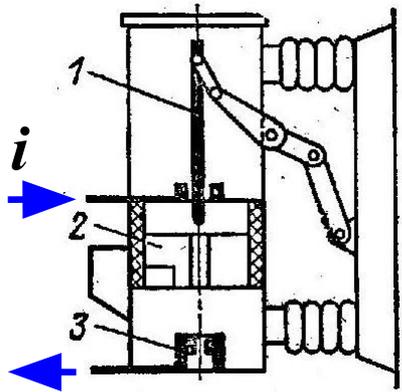
- взрыво- и пожароопасность;
- необходимость контроля за состоянием и уровнем масла;
- большой объем масла (большое время на его замену);
- непригодность для внутренней установки;
- непригодность для быстродействующего АПВ;
- большая масса и габариты.

Область применения масляных баковых выключателей

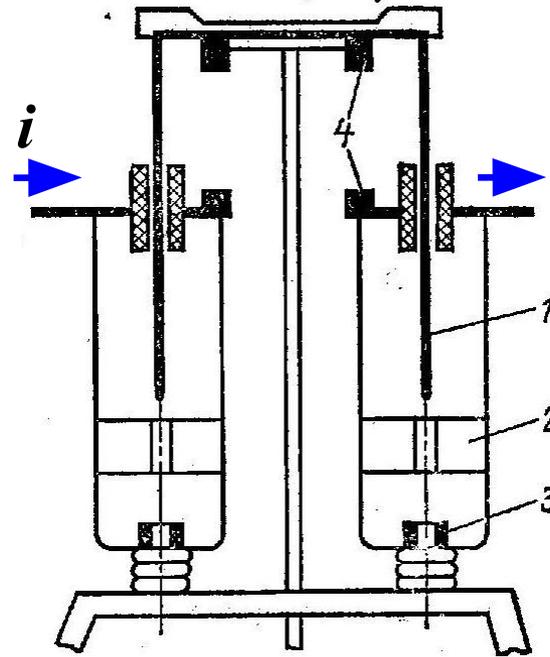
ОРУ 35 кВ и выше



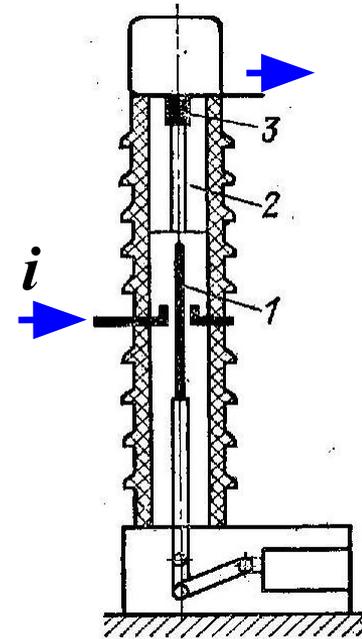
Маломасляные выключатели



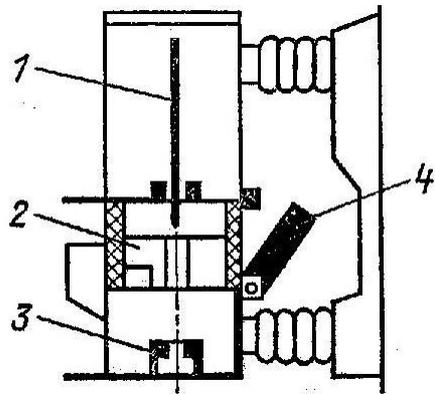
ВМГ



МГГ



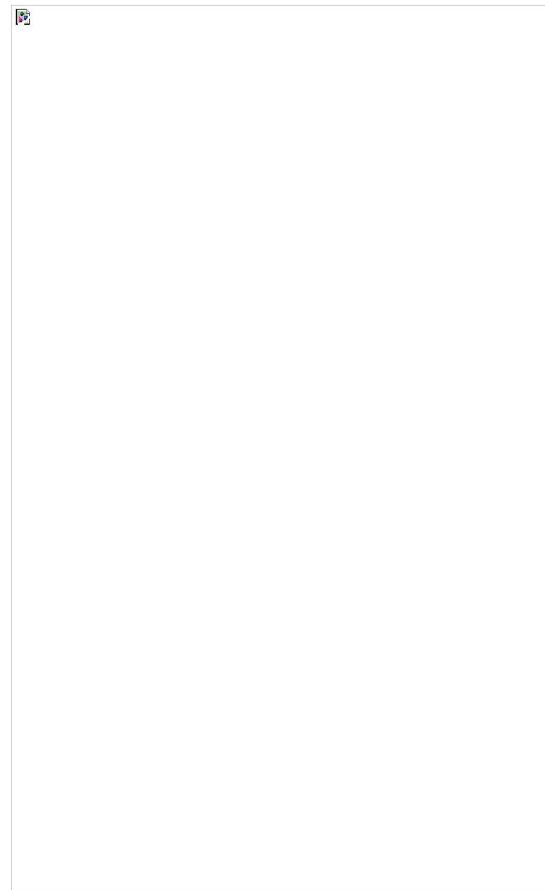
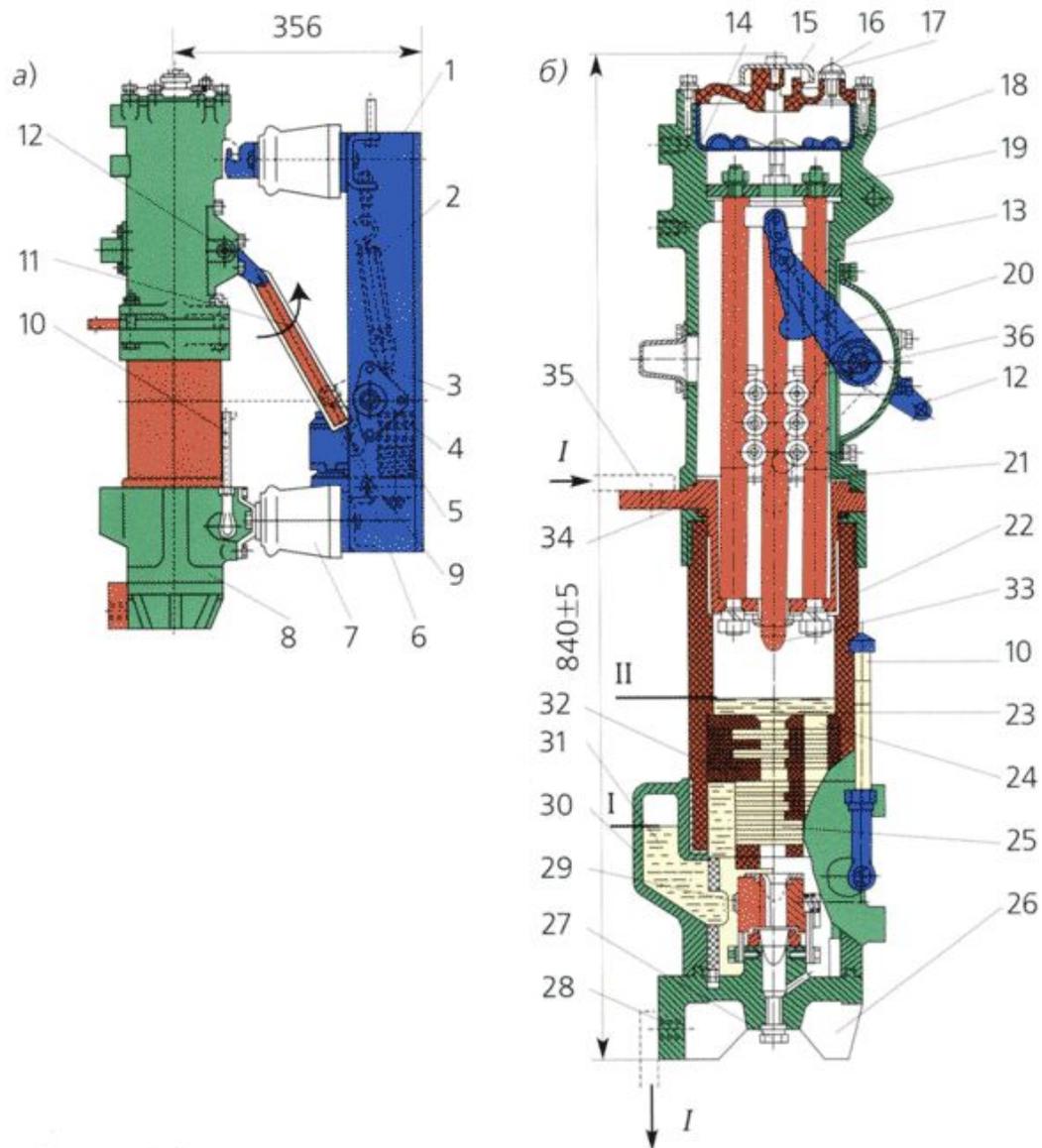
ВМК



ВМП

1. подвижный контакт;
2. дугогасительная камера;
3. неподвижный контакт;
4. рабочие контакты.

Маломасляный выключатель ВМП-10



Достоинства и недостатки маломасляных выключателей

Достоинства:

- небольшое количество масла;
 - относительно малая масса;
 - удобный доступ к дугогасительным контактам.
-

Недостатки:

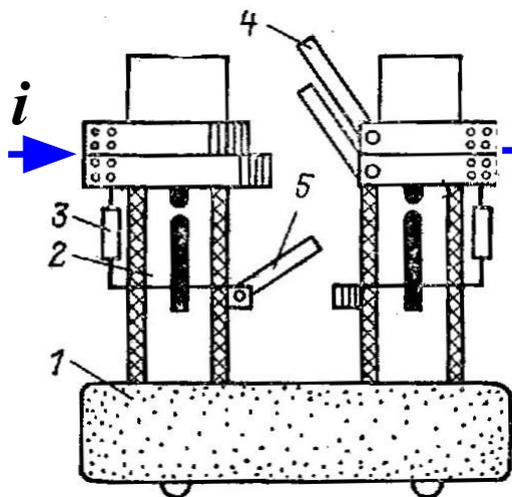
- взрыво- и пожароопасность (хотя и значительно меньшая, чем у баковых выключателей);
- необходимость контроля за состоянием и уровнем масла, частая замена масла;
- трудность установки встроенных ТТ;
- малая отключающая способность.

Область применения маломасляных выключателей

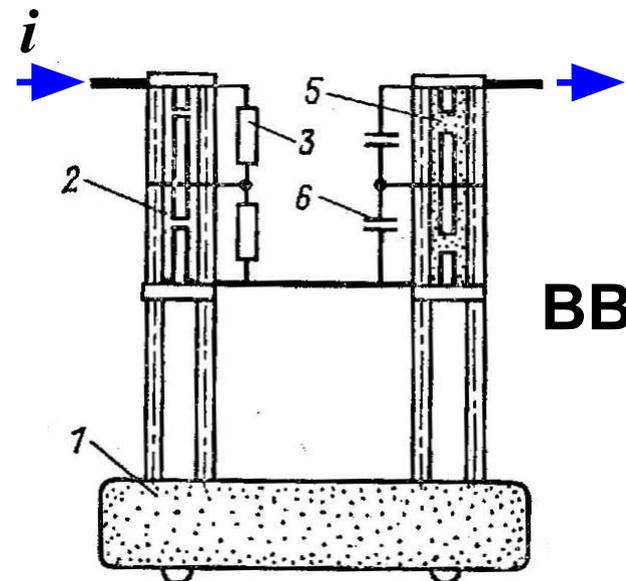
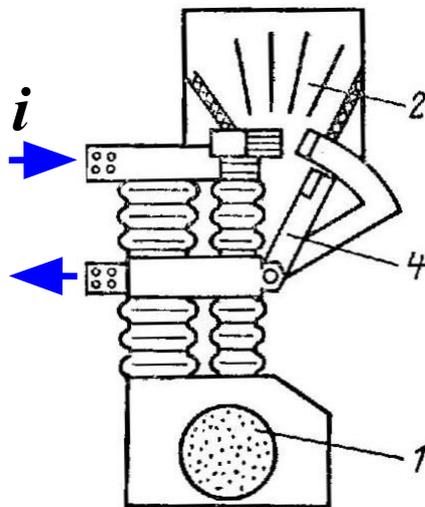
- **Закрытые РУ 6÷110 кВ**
- **Комплектные РУ 6÷35 кВ**
- **ОРУ 35 кВ, 110 кВ**



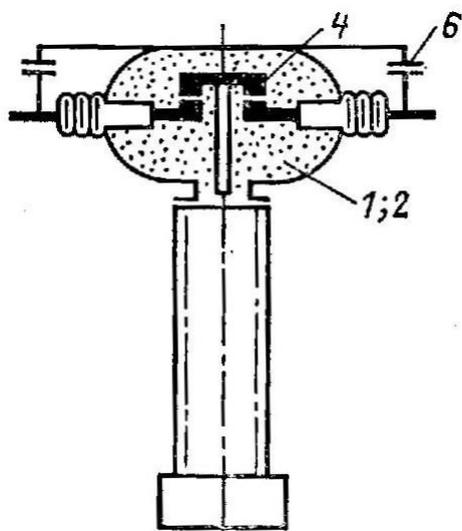
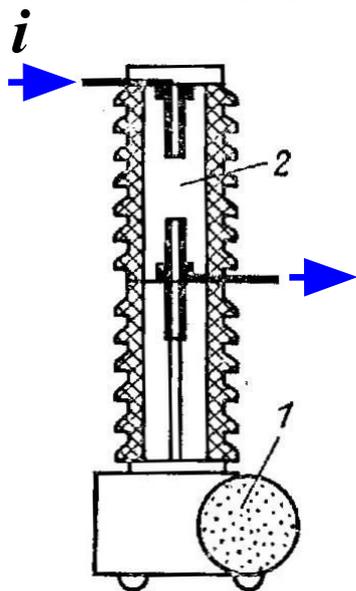
Воздушные выключатели



ВВГ



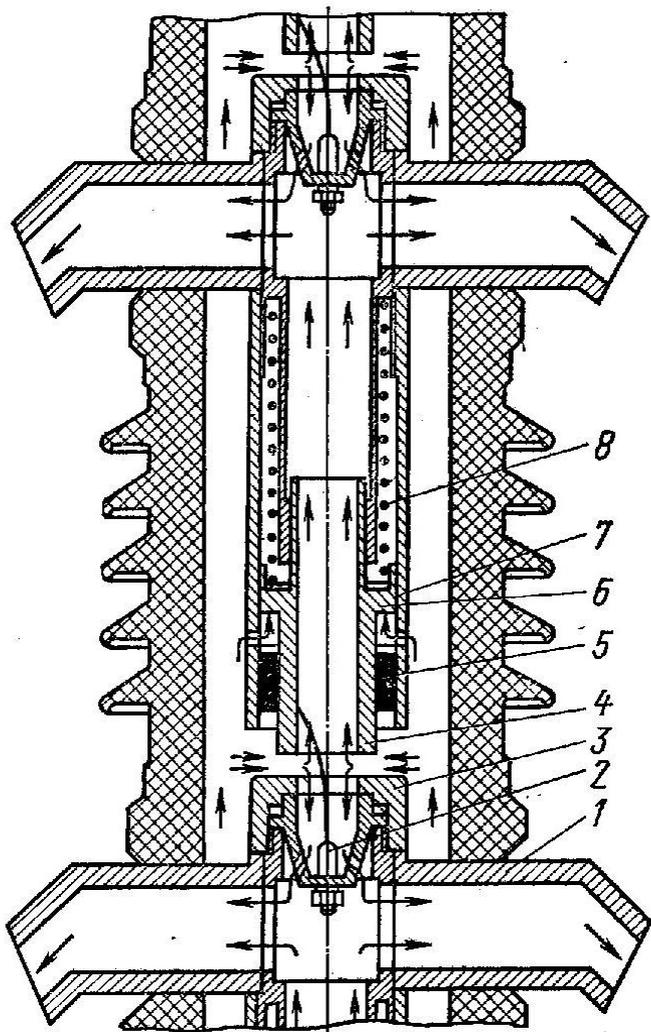
ВВ



ВВБ

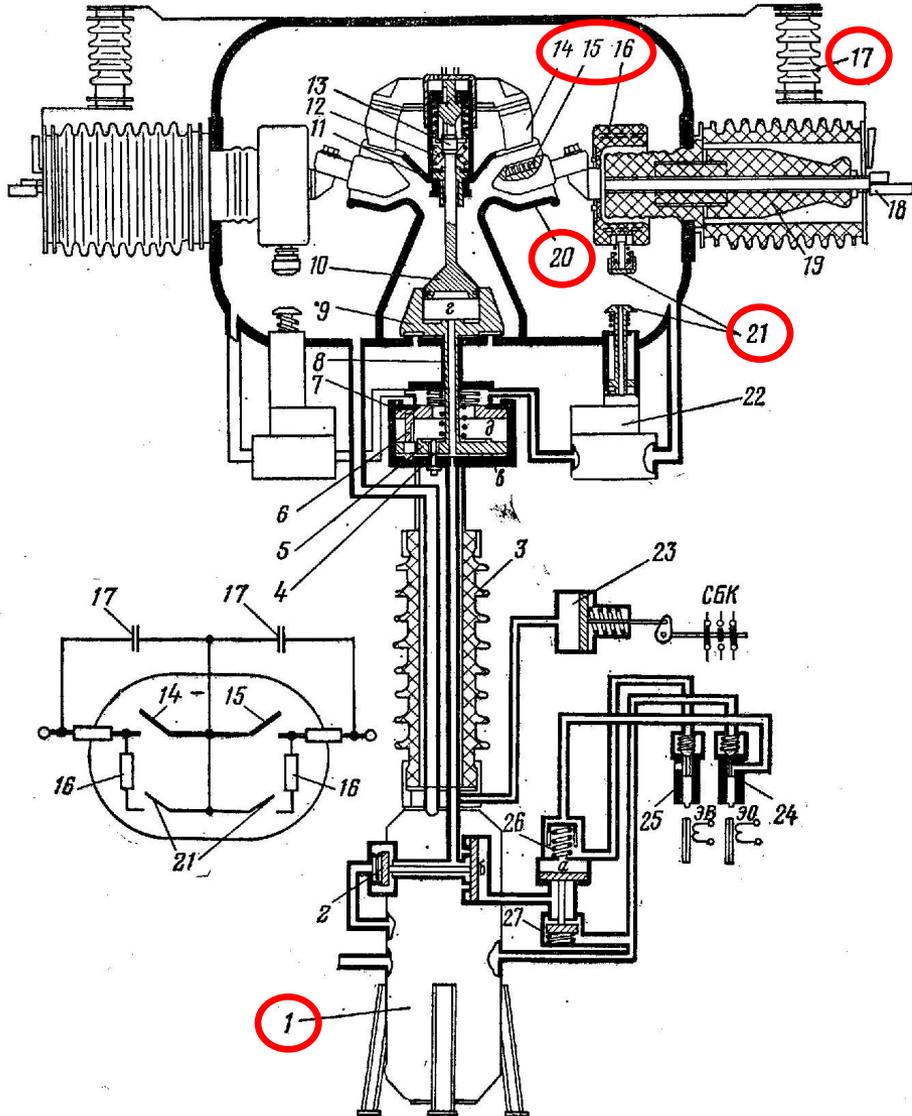
1. резервуар со сжатым воздухом (2÷4 МПа);
2. дугогасительная камера;
3. шунтирующий резистор;
4. главные контакты;
5. отделитель;
6. делитель напряжения.

Дугогасительная камера воздушного выключателя ВВ



1. **ВЫХЛОПНЫЕ КАНАЛЫ;**
2. **ДУГОСЪЕМ;**
3. **НЕПОДВИЖНЫЙ КОНТАКТ;**
4. **ПОДВИЖНЫЙ КОНТАКТ;**
5. **СКОЛЬЗЯЩИЕ КОНТАКТЫ;**
6. **ПОРШЕНЬ;**
7. **КОРПУС МЕХАНИЗМА ПОДВИЖНОГО КОНТАКТА;**
8. **ПРУЖИНА.**

Функциональная схема выключателя ВВБ-110



- 1. резервуар;
- 14. контактный нож;
- 15. неподвижный контакт;
- 16. шунтирующие резисторы;
- 17. емкостный делитель напряжения;
- 20. металлический конфузор;
- 21. вспомогательные контакты.

Модульные воздушные выключатели

ВВБ – модуль на 125 кВ (2 МПа)

Напряжение	110	220	330	500	750
Число модулей	1	2	4	6	8

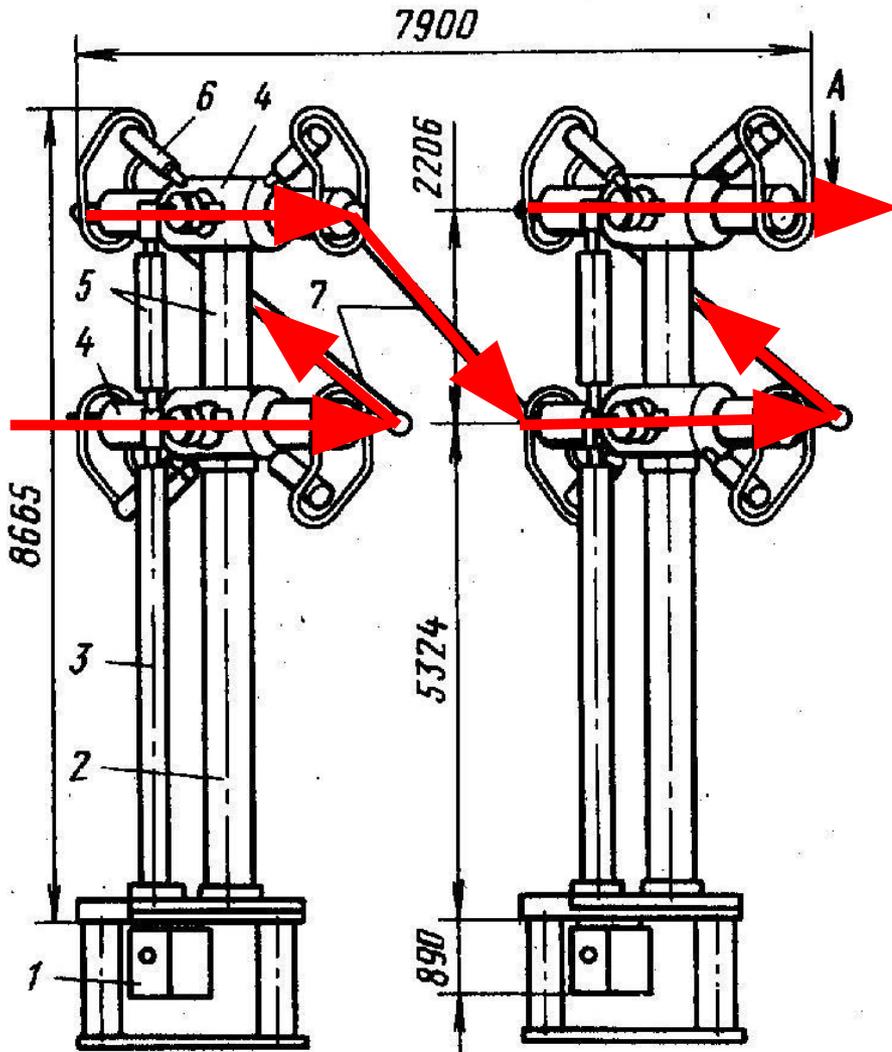
ВВБК – модуль на 250 кВ (4 МПа)

Напряжение	110	220	330	500	750
Число модулей	1	2	2	4	6

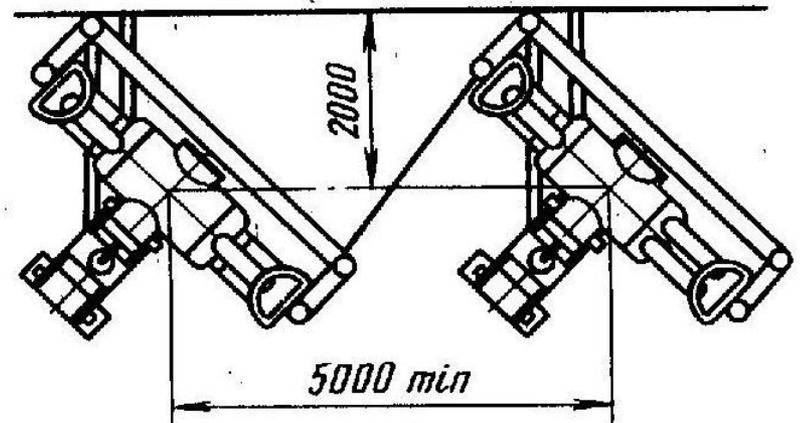
ВНВ – модуль на 250 кВ (4 МПа)

Напряжение	110	220	330	500	750
Число модулей	1	1	2	2	2

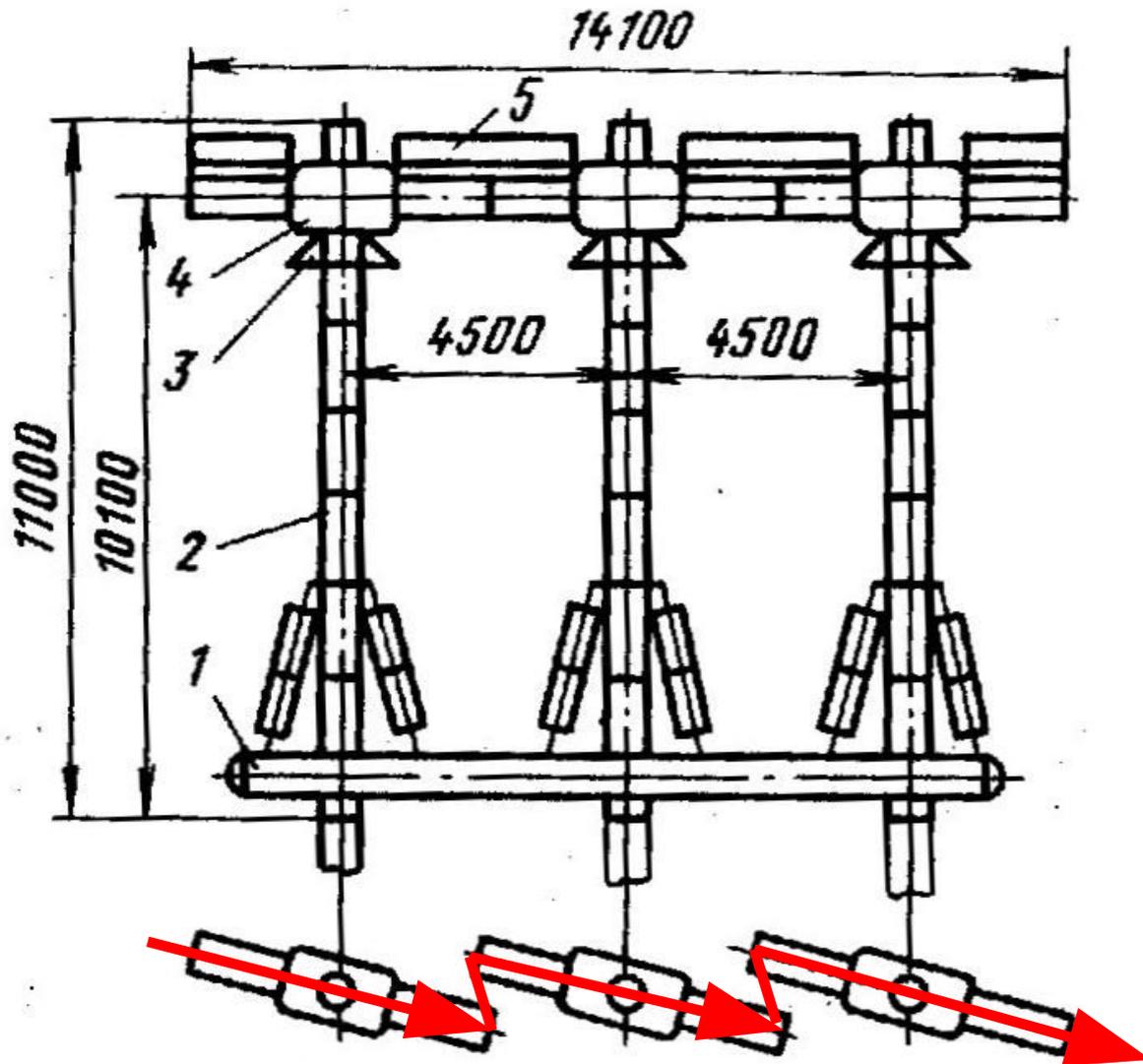
ВВБК-500



1. шкаф управления;
2. опорная колонна;
3. колонка управления;
4. модуль;
5. промежуточные изоляторы;
6. делитель напряжения;
7. токоведущая перемычка.



ВНВ-750



1. ресивер сжатого воздуха;
2. опорная колонна;
3. экран;
4. модуль;
5. делитель напряжения.

Достоинства и недостатки воздушных выключателей

Достоинства:

- взрыво- и пожаробезопасность;
- возможность быстродействующего АПВ;
- высокая отключающая способность;
- малый износ дугогасительных контактов;
- легкий доступ к дугогасительным камерам;
- пригодность для внутренней и наружной установки.

Недостатки:

- необходимость компрессорной установки;
- сложная конструкция;
- высокая стоимость;
- трудность установки встроенных ТТ.

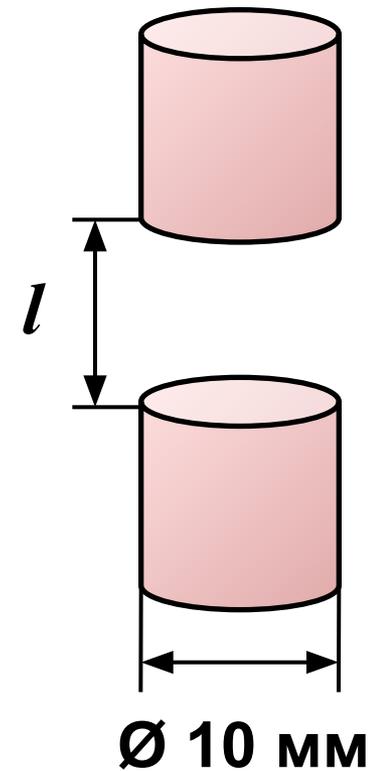
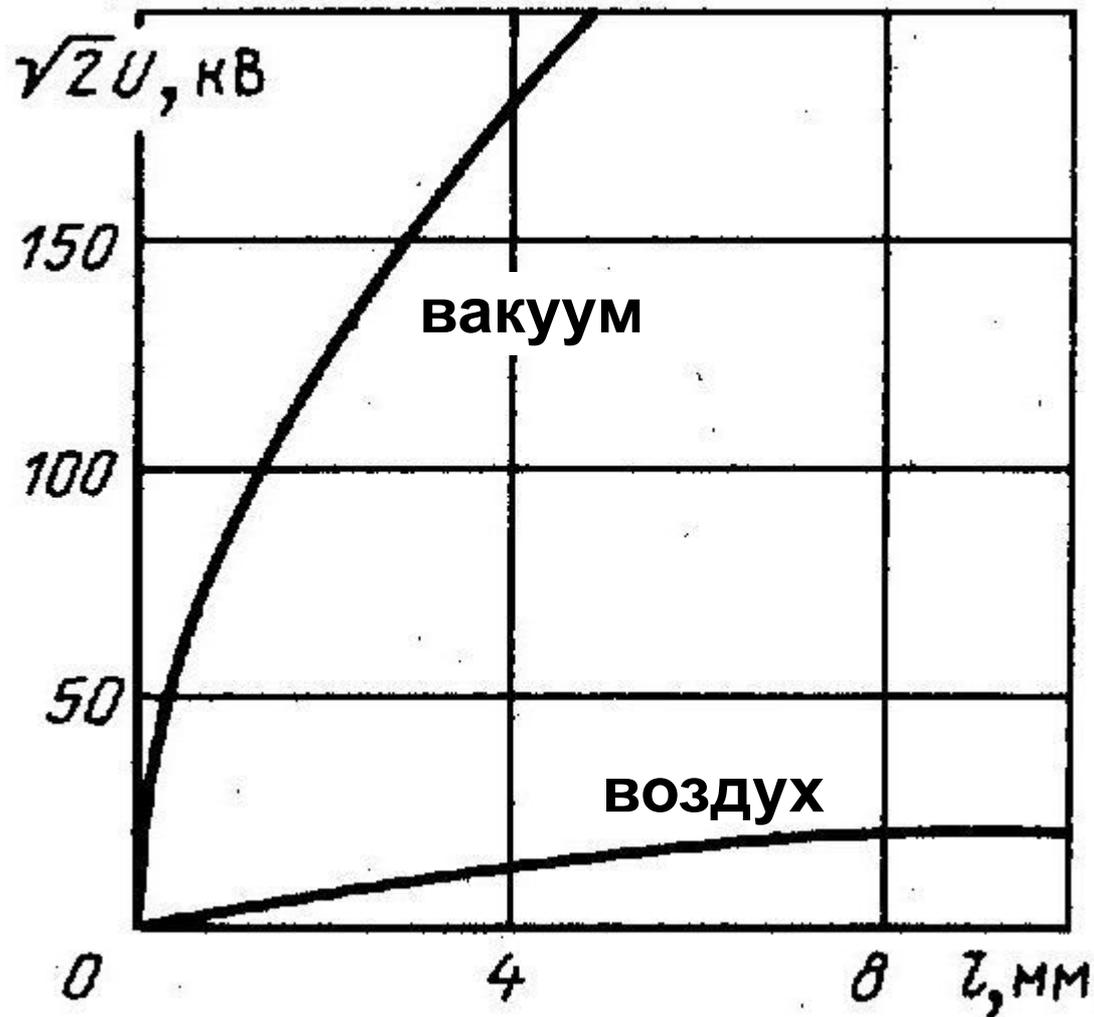
Область применения воздушных выключателей

ОРУ, ЗРУ
6 ÷ 750 кВ
(1150 кВ)

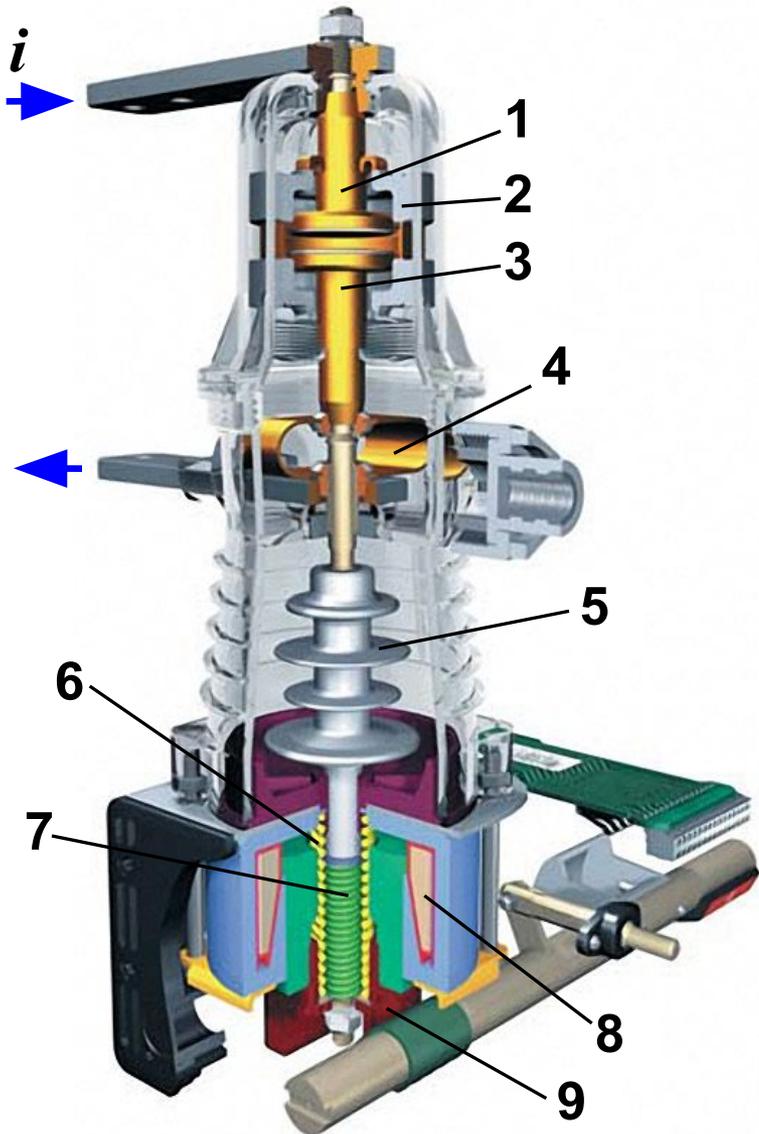


Вакуумные выключатели

Пробивное напряжение вакуума

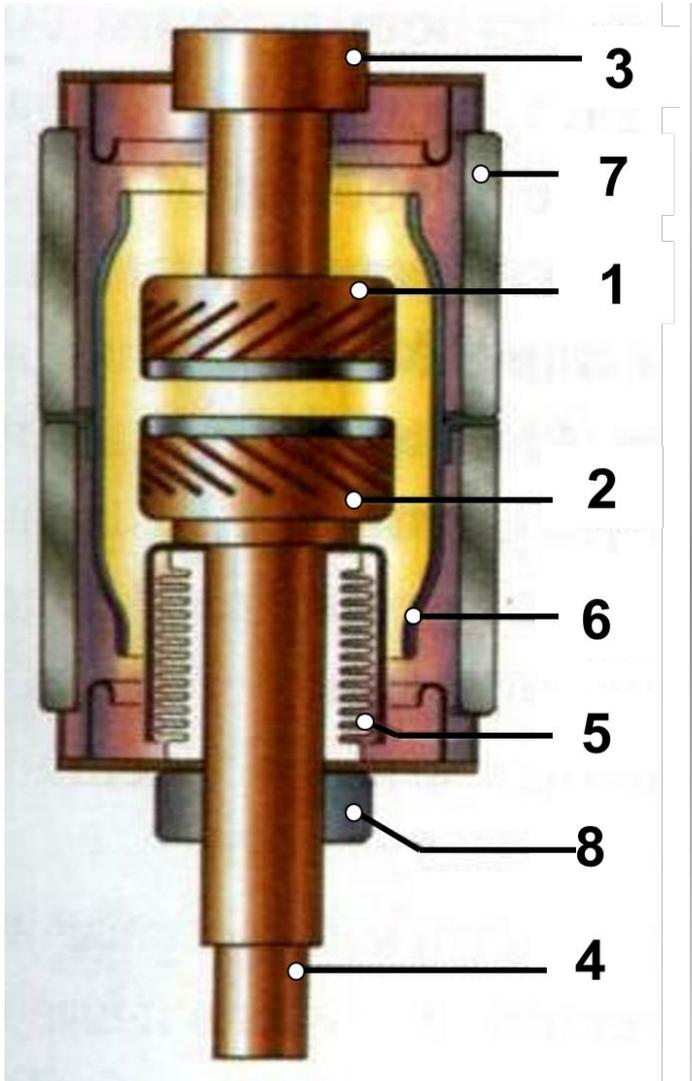


Конструкция вакуумного выключателя

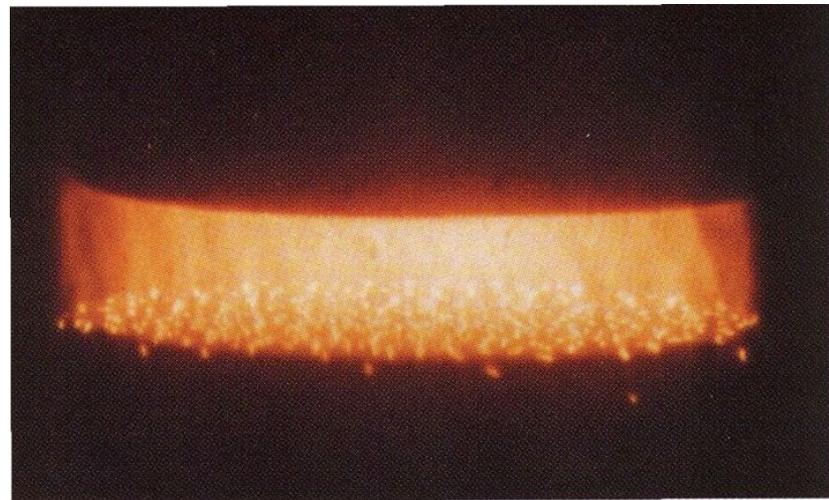


1. неподвижный контакт;
2. дугогасительная камера;
3. подвижный контакт;
4. гибкий токосъем;
5. тяговый изолятор;
6. отключающая пружина;
7. дожимная пружина;
8. электромагнит включения;
9. якорь.

Конструкция вакуумной дугогасительной камеры



1. неподвижный электрод;
2. подвижный электрод;
3. неподвижный контактный стержень;
4. подвижный контактный стержень;
5. стальной сильфон;
6. экран;
7. стеклокерамическая оболочка.



Дуга тока КЗ между контактами ВДК

Достоинства и недостатки вакуумных выключателей

Достоинства:

- взрыво- и пожаробезопасность;
- простота конструкции;
- высокая надежность;
- возможность быстродействующего АПВ;
- небольшие размеры и масса;
- бесшумная работа;
- отсутствие загрязнения окружающей среды;
- пригодность для внутренней и наружной установки.

Недостатки:

- небольшие номинальные токи и токи отключения;
- возможность коммутационных перенапряжений.

Область применения вакуумных выключателей

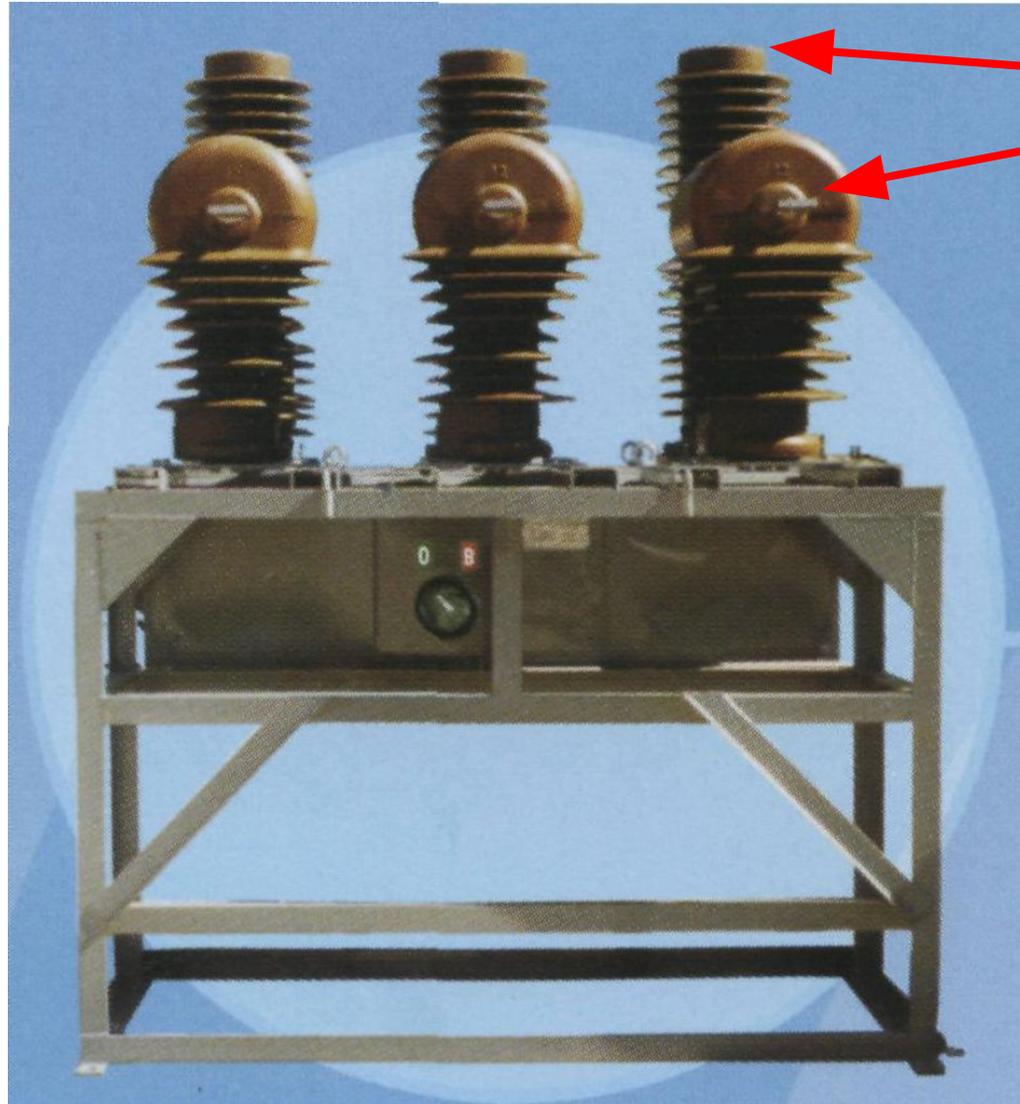
ОРУ, ЗРУ 6÷110 кВ



Масляный баковый выключатель, реконструированный в вакуумный



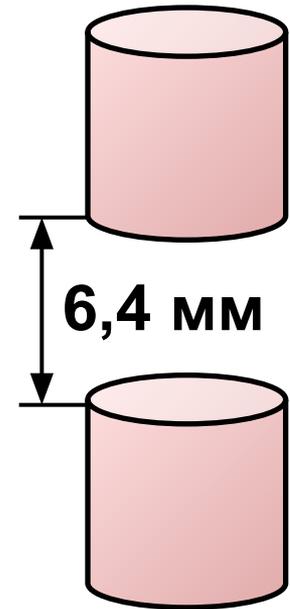
Вакуумный выключатель 35 кВ со встроенными ТТ



присоединение
шин

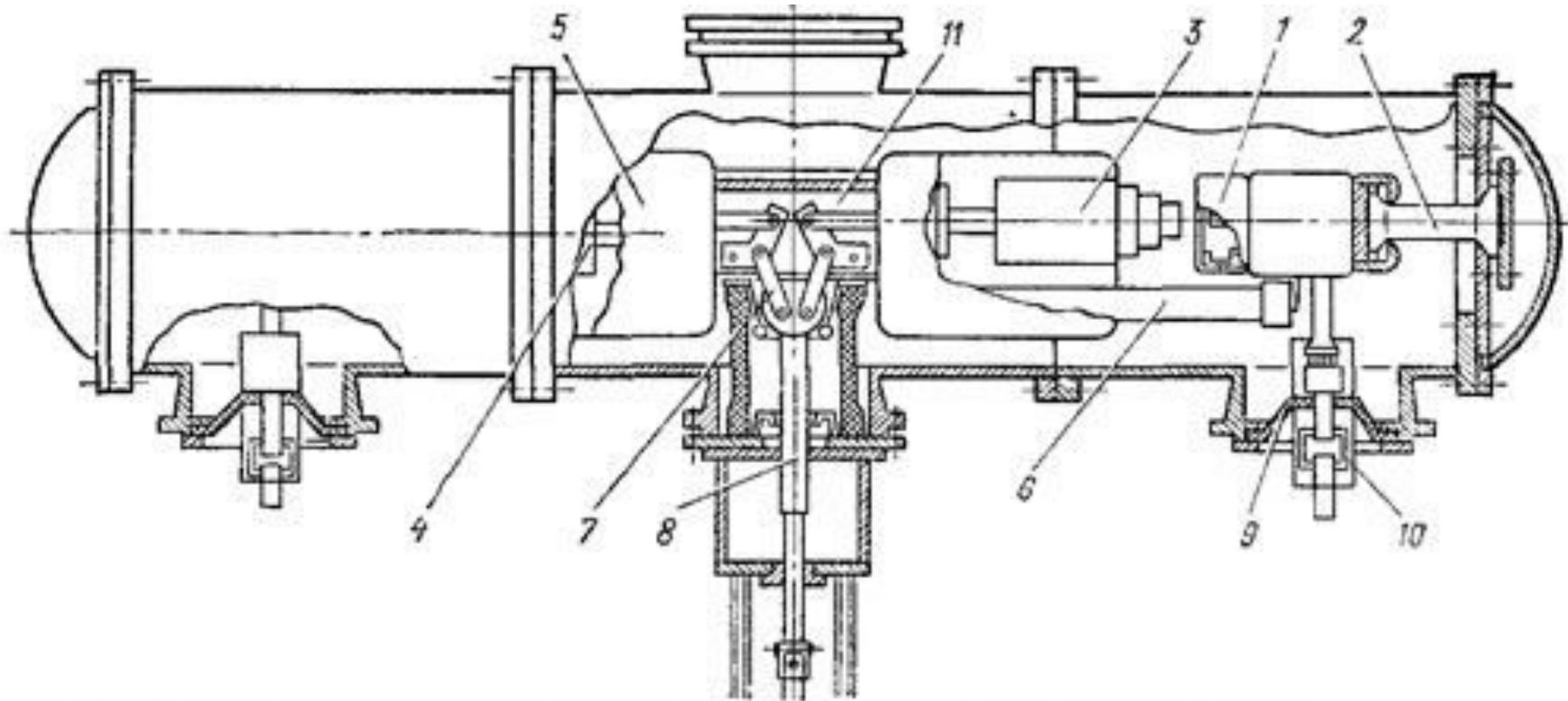
Элегазовые выключатели

Восстанавливающаяся электрическая прочность



В элегазе при атмосферном давлении может быть погашена дуга с током в 100 раз большим, чем в воздухе

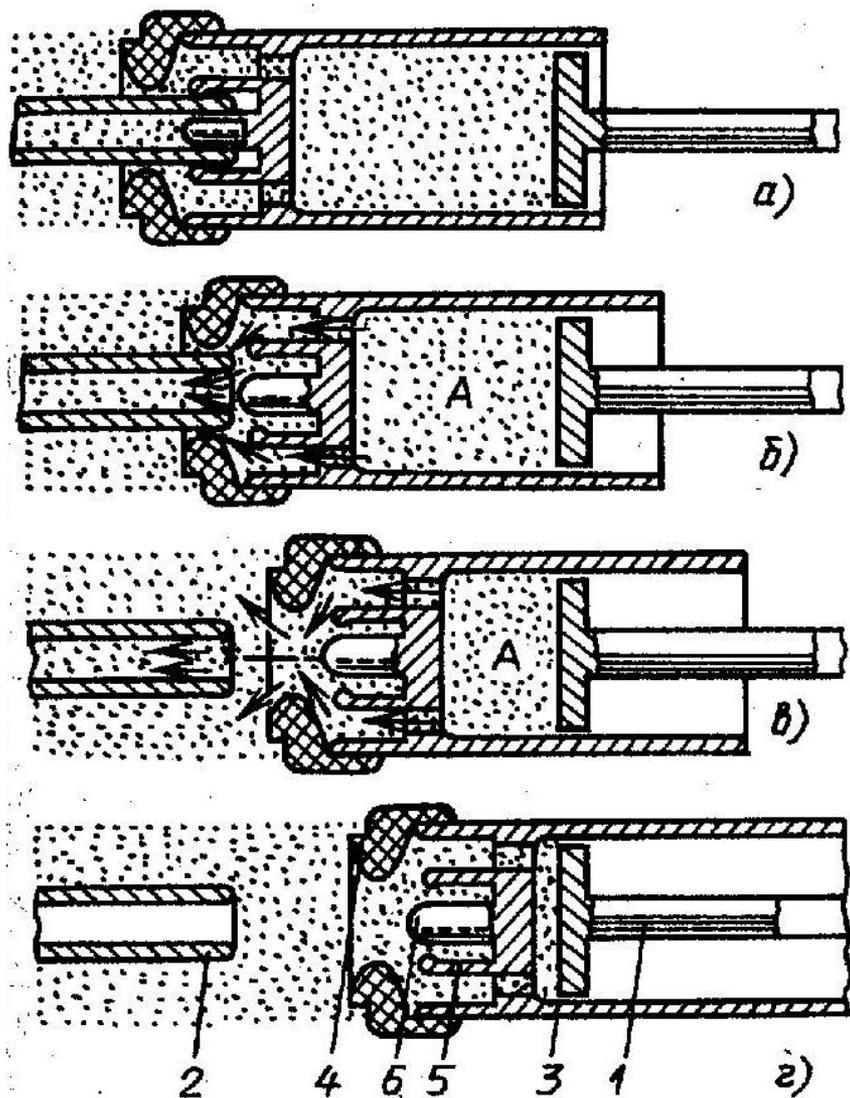
Конструкция элегазового выключателя



1. неподвижный контакт;
2. изолятор;
3,4. подвижные цилиндры;
5. экран;
6. конденсатор;

7. рычажный механизм;
8. изоляционная штанга;
9. изоляционная перегородка;
10. розеточный контакт.

Дугогасительное устройство элегазового выключателя с односторонним дутьём



1. поршень;
2. полый неподвижный контакт;
3. цилиндр;
4. фторопластовое сопло;
5. розеточный контакт;
6. вспомогательный электрод;

Достоинства и недостатки элегазовых выключателей

Достоинства:

- взрыво- и пожаробезопасность;
- малый износ дугогасительных контактов;
- возможность быстросействующего АПВ;
- высокая отключающая способность;
- пригодность для внутренней и наружной установки;
- бесшумная работа.

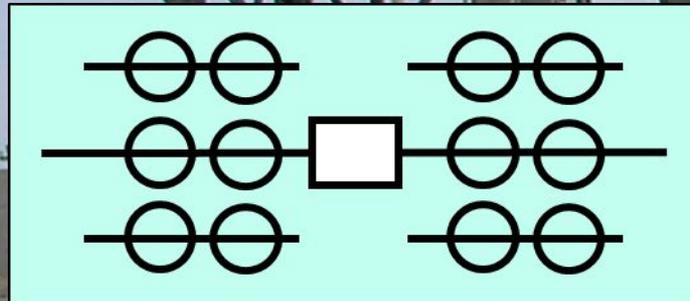
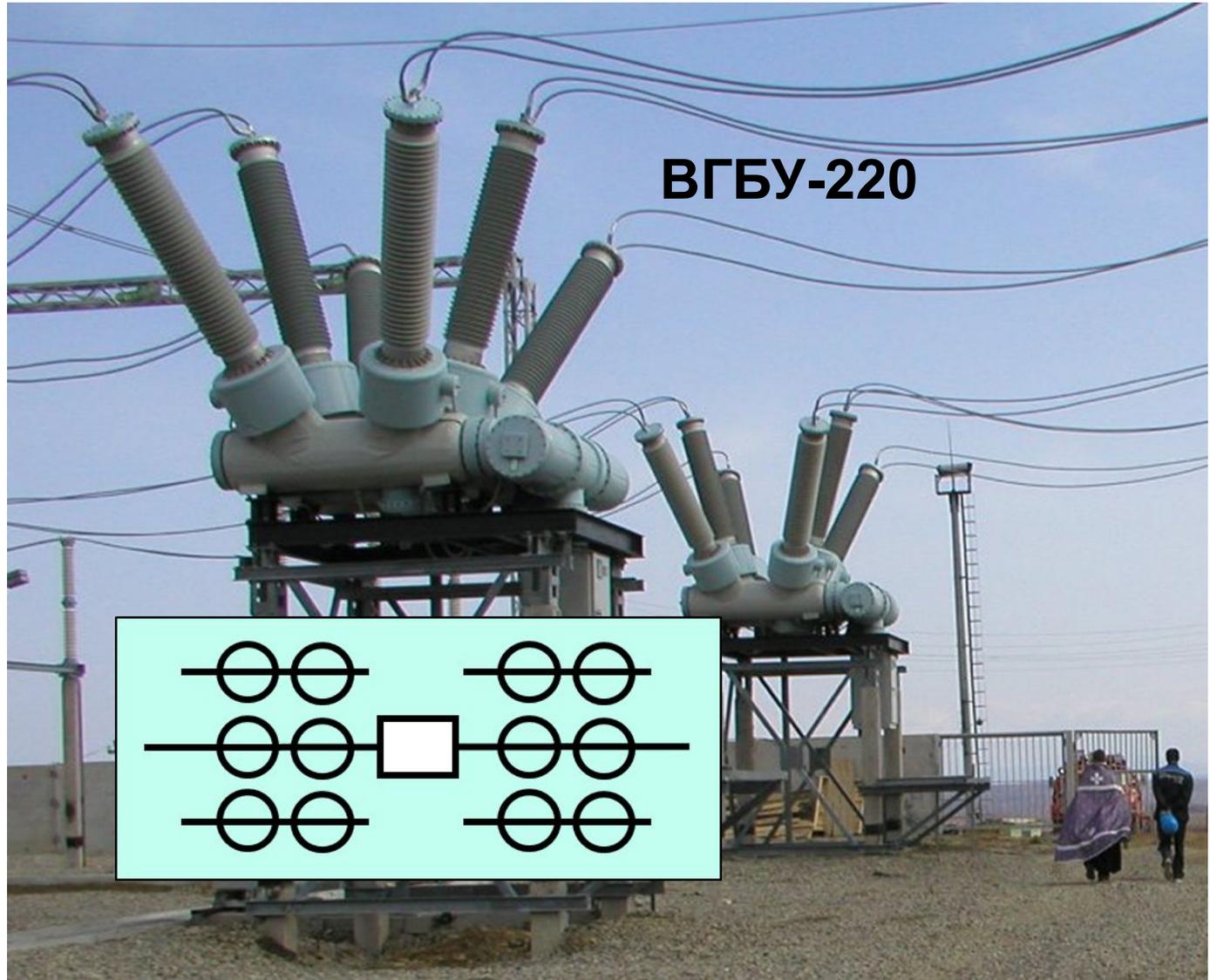
Недостатки:

- необходимость специальных устройств для наполнения, перекачки и очистки элегаза;
- относительно высокая стоимость элегаза.

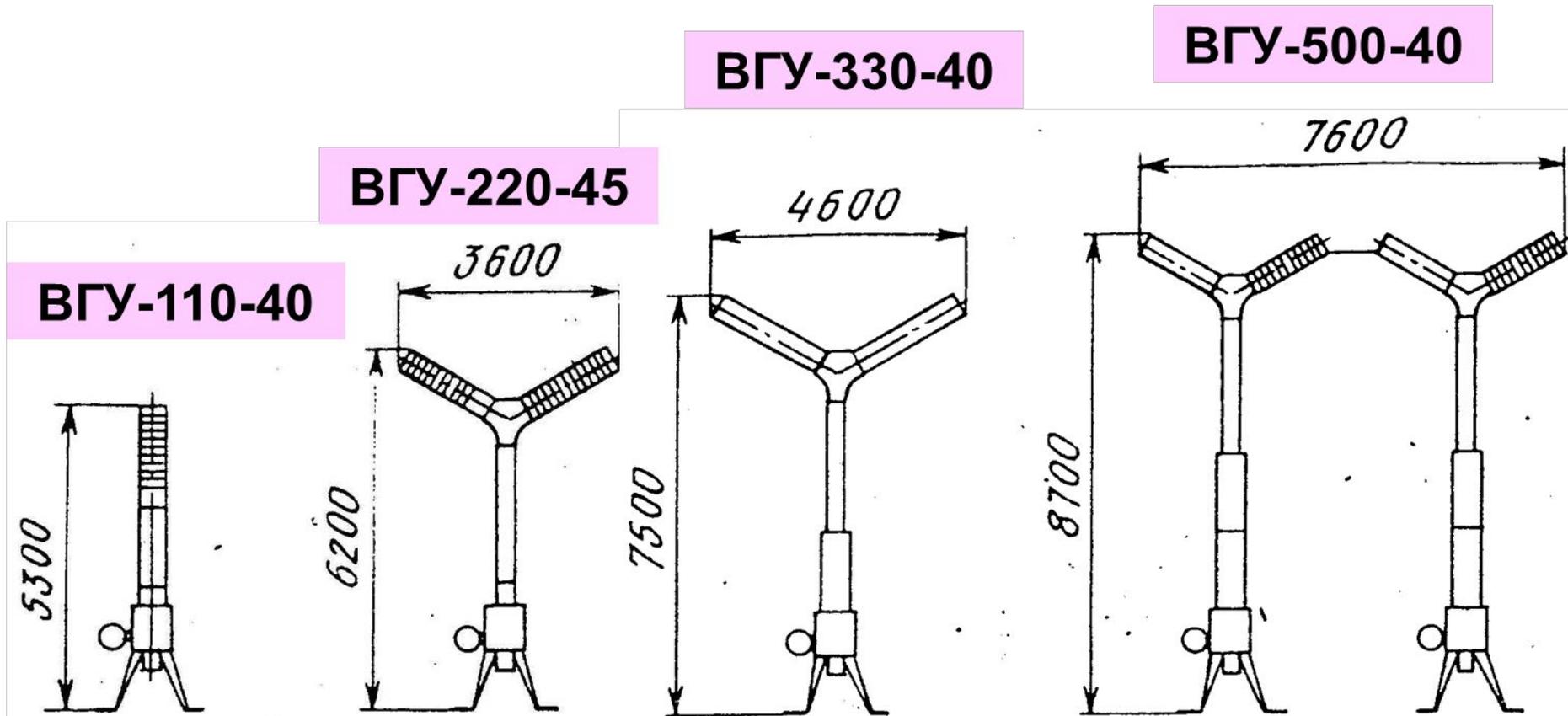
Область применения элегазовых выключателей

ОРУ, ЗРУ

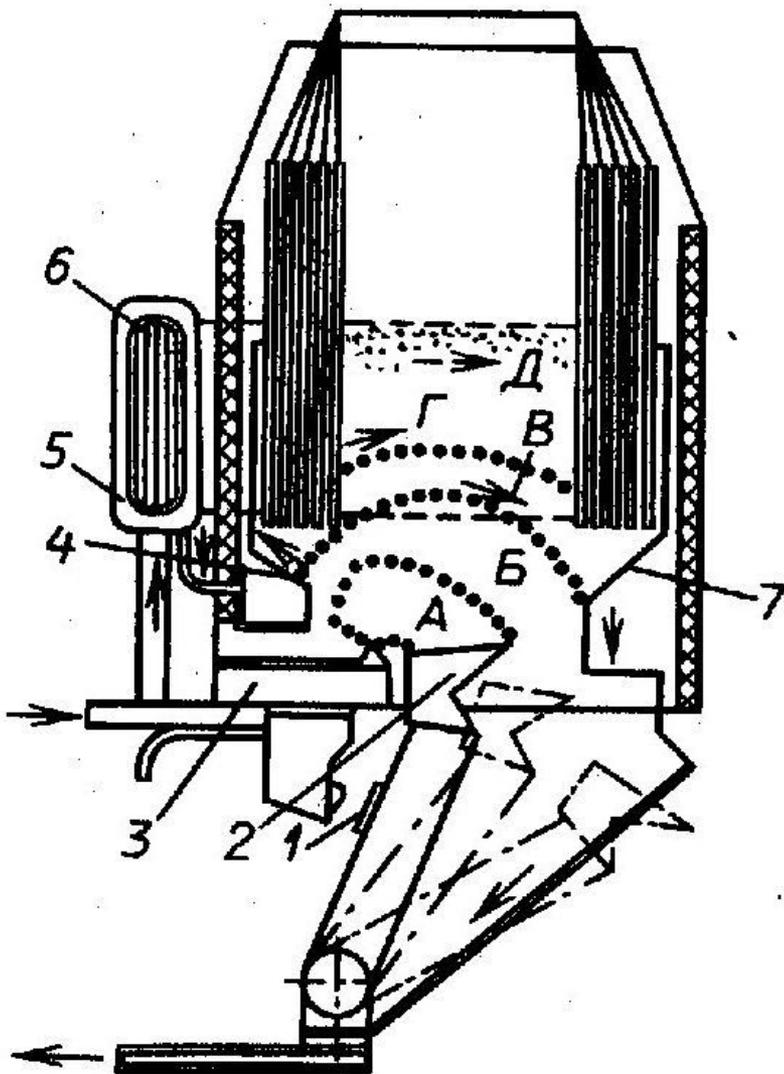
6÷750 кВ



Сравнительные размеры элегазовых выключателей



Электромагнитные выключатели



1. главные контакты;
- 2, 3. дугогасительные контакты;
4. передний рог;
5. электромагнит;
6. полюсный наконечник;
7. задний рог.

Длина дуги в положении Д – до 1÷2 м

Достоинства и недостатки электромагнитных выключателей

Достоинства:

- взрыво- и пожаробезопасность;
 - малый износ дугогасительных контактов;
 - могут работать при частых включениях и отключениях;
 - высокая отключающая способность.
-

Недостатки:

- сложная конструкция дугогасителя;
- номинальное напряжение не более 20 кВ;
- ограниченная пригодность для наружной установки.

Выбор выключателей (1)

1. По напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}$$

2. По длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}} \quad (I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}})$$

3. По симметричному току отключения

$$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{отк.ном}}$$

4. По отключению апериодической составляющей тока к.з.

$$i_{\text{ат}} \leq i_{\text{а.ном}} = \sqrt{2} \beta_{\text{ном}} I_{\text{отк.ном}}$$

Выбор выключателей (2)

5. По отключению полного тока к.з. (если не выполняется условие 4)

$$\sqrt{2}I_{пт} + i_{ат} \leq \sqrt{2}I_{отк.ном}(1 + \beta_{ном})$$

6. На электродинамическую стойкость

$$I_{п0} \leq I_{дин} \quad i_y \leq i_{дин}$$

7. На термическую стойкость

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}$$

8. По скорости восстанавливающегося напряжения на контактах