

# Разряды в жидких и твердых диэлектриках. Электрические характеристики внутренней ИЗОЛЯЦИИ

Электрическая прочность жидкого диэлектрика и твердого значительно выше чем у воздуха, что позволяет существенно уменьшить изоляционные расстояния и габариты оборудования – трансформаторы, кабели, силовые конденсаторы, выключатели

Требования к изоляционным конструкциям высокого напряжения: надежность, компактность, механическая прочность, тепловая устойчивость, возможность контроля состояния и восстановления изоляции во время ремонта, приемлемая стоимость

Требования к изоляционным конструкциям реализуются за счет использования комбинации твердых, жидких и газообразных изолирующих материалов в сочетании с мероприятиями по регулированию электрических полей

Типы комбинированных изоляционных конструкций: бумажно-масляная изоляция, масло –барьерная изоляция, высокопрочные газы под давлением

# Пробой жидких диэлектриков

## Классификация:

1. Углеводороды минеральные - продукты перегона нефти и каменного угля (трансформаторное, конденсаторное и другие масла) - неполярные
2. Углеводороды растительные – касторовое, льняное и др. масла
3. Хлорированные углеводороды – хлордифинил, совол
4. Кремнийорганические соединения - неполярные

## Основные свойства жидких диэлектриков

Вид диэлектрика	$\rho$ , Ом·см	$\epsilon$	$\text{tg}\delta$
Неполярные	$\geq 10^{18}$	1,8–2,5	$\approx 0,001$
Слабополярные	$\approx 10^{11} - 10^{12}$	$> 2,5$	$\approx 0,01$
Сильнополярные	$\approx 10^7 - 10^8$	$> 5$	$\approx 0,1$

# Природа проводимости жидкого диэлектрика

1. Ионная проводимость – вследствие движения ионов в частично диссоциированной жидкости
2. Катафоретическая проводимость – вследствие перемещения заряженных частиц примесей ( коллоидные частицы размером 70-1000 А)

изма трудно различимы  $\gamma = \gamma_0 e^{a(t^{\circ}C - t_0^{\circ}C)}$

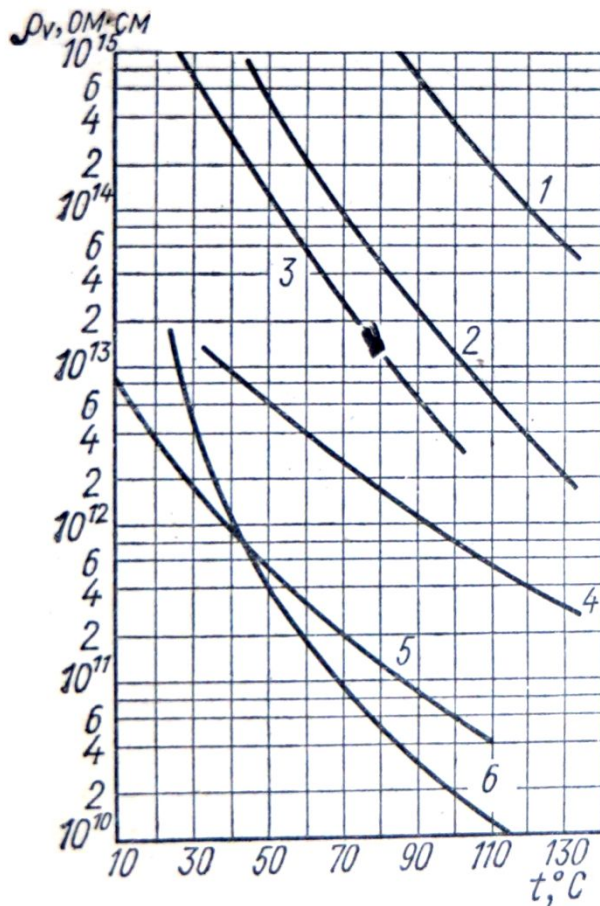
Аппроксимация для узкого диапазона температур

Для минерального масла  $a=0.04-0.05$  1/град

1- трансформаторное масло высокой очистки; 2- трансформаторное масло очищенное; 3- вазелиновое масло; 4- трансформаторное масло промышленное; 5- касторовое масло ; 6 - совол

Типовые примеси в трансформаторном масле:

Вода, газы, волокна целлюлозы, углерод, продукты разложения масла



### 3. Электронная проводимость.

Проявляется при высоких (предпробивных) значениях напряженности электрического поля  $E > 100$  кВ/см

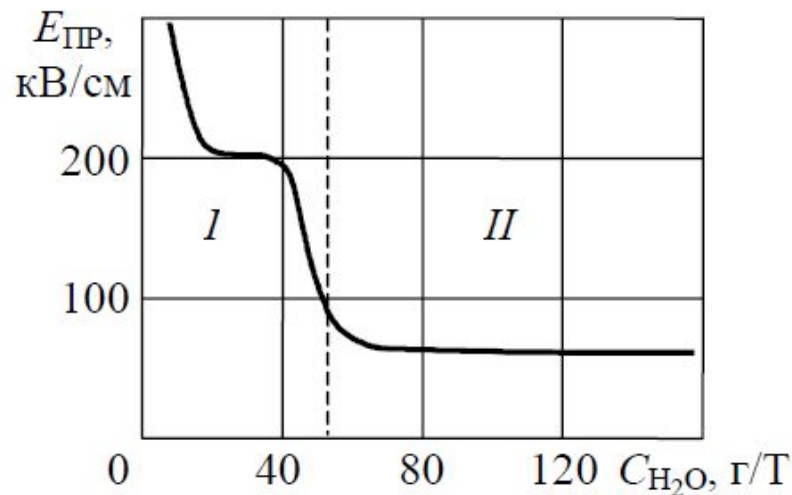
$$j_e = j_0 e^{cE}$$

**Факторы, влияющие на электрическую прочность трансформаторного масла:**

- 1) **Загрязнение и увлажнение.** При влагосодержании свыше 0.03 % электрическая прочность масла резко падает.
- 2). **Вязкость.** Уменьшение вязкости снижает электрическую прочность
- 3). **Температура (Т).** С ростом Т  $U_{пр}$  – снижается
- 4). **Давление (Р).** С ростом Р  $U_{пр}$  – растет
- 5). **Время действия напряжения (  $t_{п}$  ).**  $t_{п} \downarrow$   $U_{пр} \uparrow$  . Для чистых жидкостей эффект выражен слабее.
- 6). **Форма электродов** (неоднородность электрического поля).  $E_{max}/E_{ср} \uparrow$   
 $U_{пр} \downarrow$
- 7). **Полярность криволинейного электрода .**  $U_{пр} - \downarrow > U_{пр} + \downarrow$

## Влияние влаги и микропримесей

Состояния влаги в масле: 1. молекулярный раствор 2. эмульсия (шарики 2-10 мкм) 3. водный отстой (на дне бака) формируется при содержании  $H_2O$  от 0.02 %. Растворимость влаги в масле растет с температурой. Капли влаги и волокна вытягиваются вдоль линий электрического поля, образуя мостики с относительно высокой проводимостью .

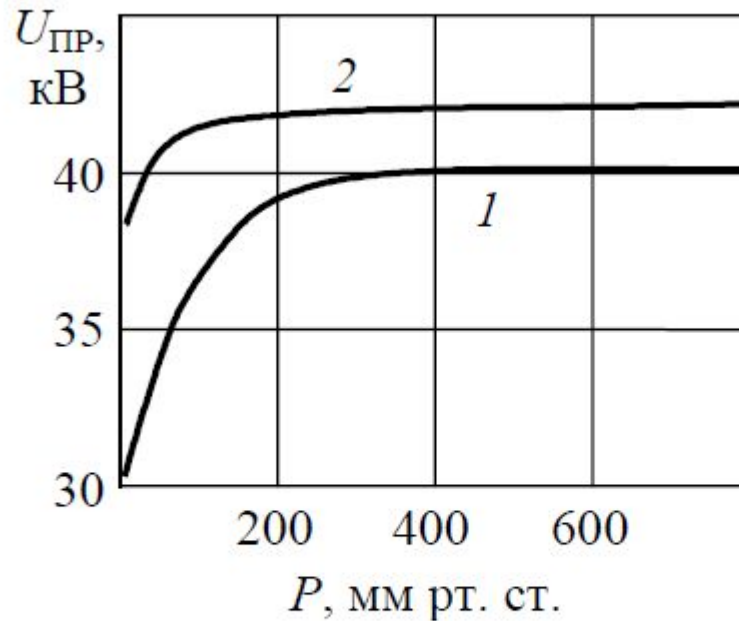


Зависимость электрической прочности трансформаторного масла от содержания влаги,  $C_{H_2O}$  (грамм/тонна):

*I* – зона растворимости влаги, *II* – эмульгированная влага

Влага и волокна слабо сказывается на импульсной прочности масла

## Влияние давления



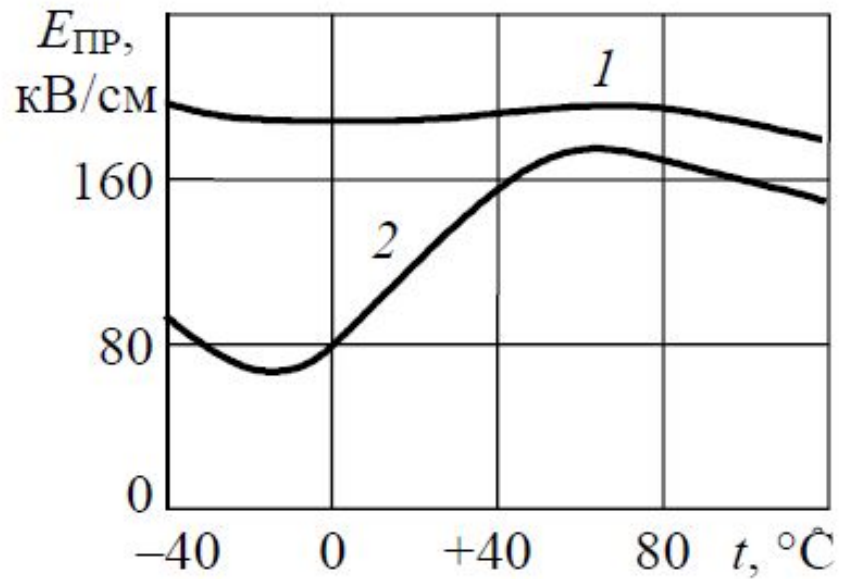
Зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла от давления:

1 – недегазированное масло; 2 – дегазированное масло

Эффект давления – уменьшение концентрации и размера газовых пузырьков в масле

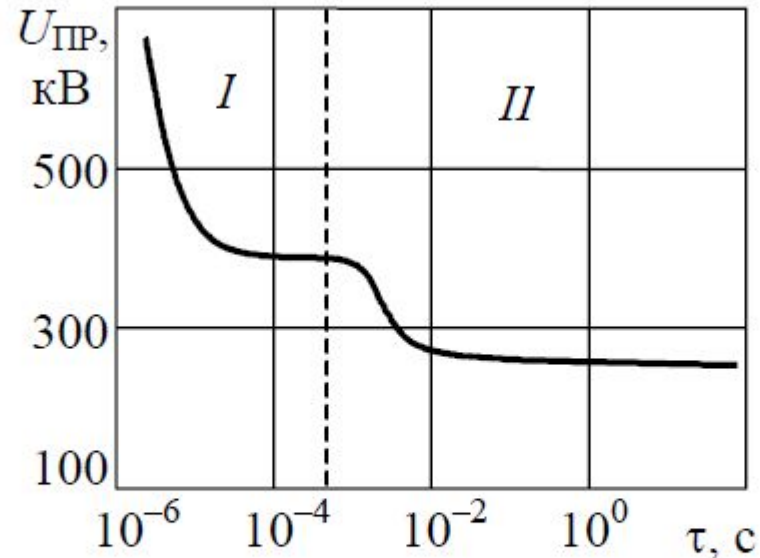
Давление мало влияет на импульсную прочность

# Влияние температуры



Зависимость электрической прочности трансформаторного масла от температуры:  
1 – сухое масло; 2 – техническое масло с примесью влаги

## Влияние времени приложения напряжения



Зависимость пробивного напряжения от времени воздействия для трансформаторного масла. Электроды острие–плоскость; расстояние между электродами 20 см; положительная полярность напряжения

I – доминируют электрические механизмы пробоя

II – главная роль принадлежит тепловым процессам



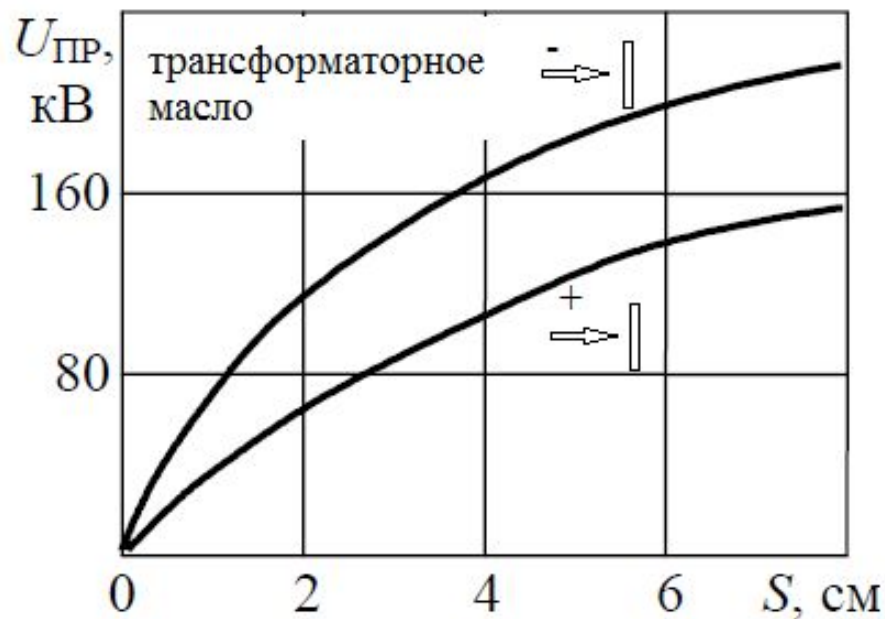
## Влияние геометрических характеристик промежутка

Более сильное по сравнению с воздухом влияние радиуса кривизны криволинейного электрода

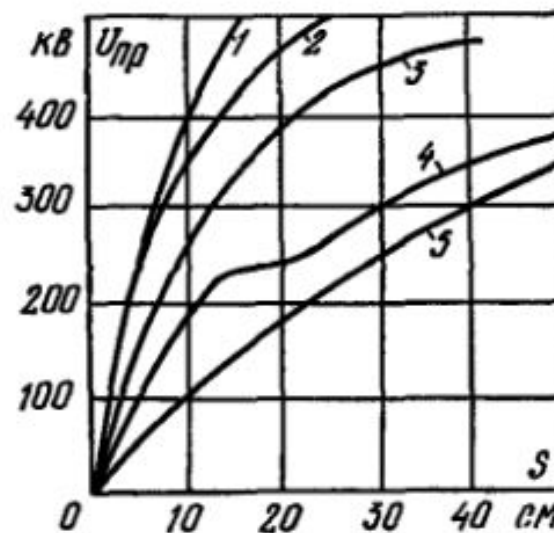
Площадь электродов  $\Sigma$ :  $\Sigma \uparrow$   $U_{пр} \downarrow$

Объем жидкости  $v$ :  $V \uparrow$   $U_{пр} \downarrow$

## Влияние полярности в неоднородном поле



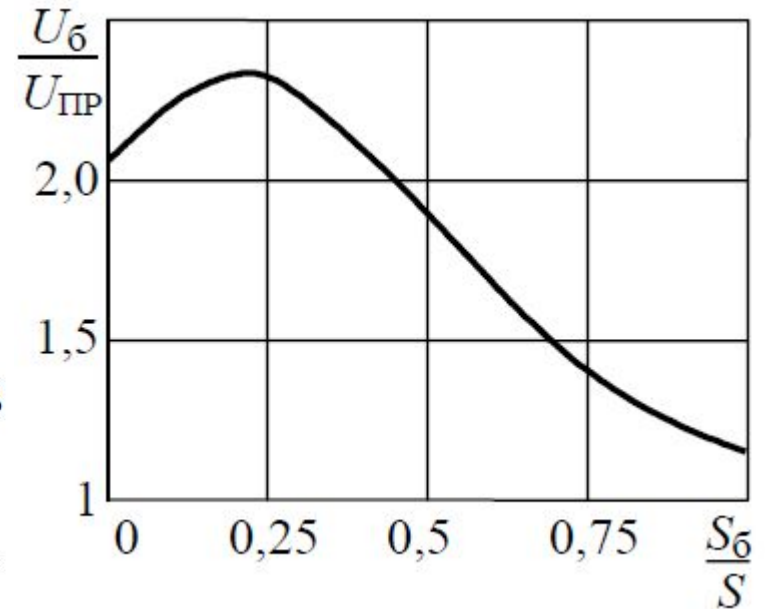
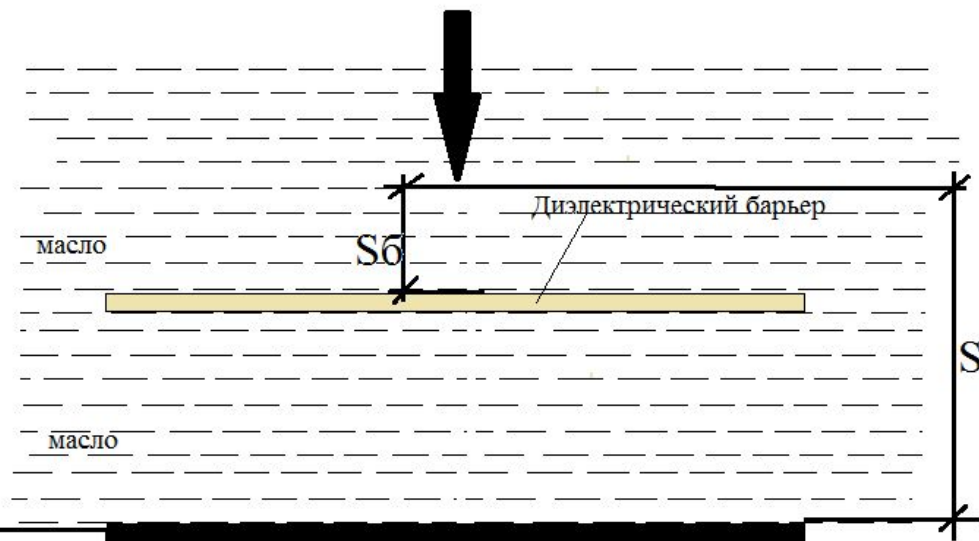
## Влияние неоднородности поля электрическую прочность масла



Напряженье пробоя масляных промежутков шар — плоскость (кривые 1, 2, 3, 4 — соответственно для шаров диаметром 50, 25, 15 и 5 см) и стержень — плоскость (кривая 5).

# Барьерный эффект

Диэлектрические барьеры (электрокартон): 1) адсорбируют на своей поверхности ионы, что способствует выравниванию распределения  $E$  в неоднородных полях 2) препятствуют образованию проводящих мостиков из примесей 3) влияние на импульсную прочность менее значительное по сравнению с напряжением промышленной частоты



$S=75$  мм, барьер 5 мм  
электрокартон