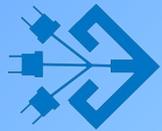


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение



среднего профессионального образования  
«Чебоксарский электромеханический колледж»

**Комплексное диагностирование  
подстанционного высоковольтного электрооборудования**

# **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

140448 Техническая эксплуатация и обслуживание  
электрического и электромеханического оборудования в энергетике

# Физико- химический анализ трансформаторного масла

1. Определение пробивного напряжения
2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь
3. Определение класса чистоты
4. Определение температуры вспышки
5. Измерение влагосодержания (количественный и качественный)
6. Определение водорастворимых кислот (ВРК)
7. Определение кислотного числа (КОН)
8. Определение общего гасосодержания
9. Хроматографический анализ
10. Определение мутности
11. Определение фурановых соединений
12. Определение стабильности против окисления

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

3

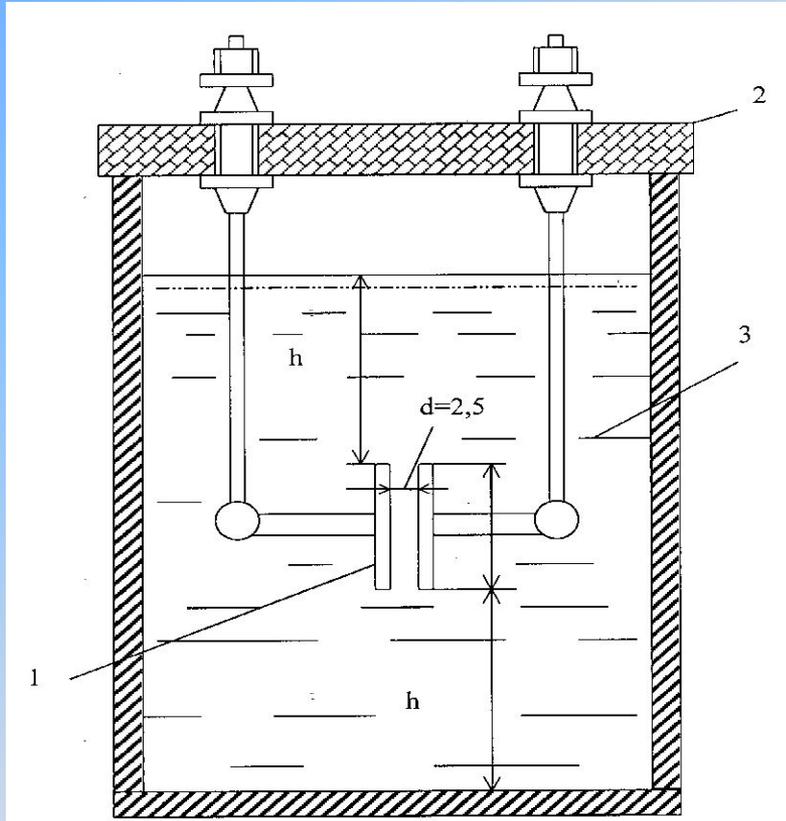
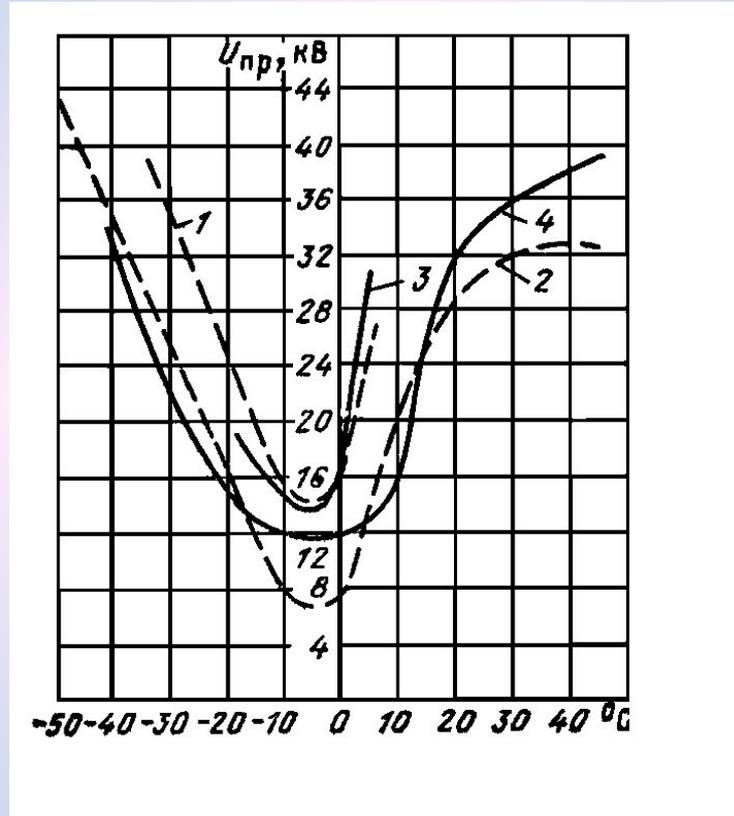


Рис.4. Схема установки для определения пробивного напряжения масла



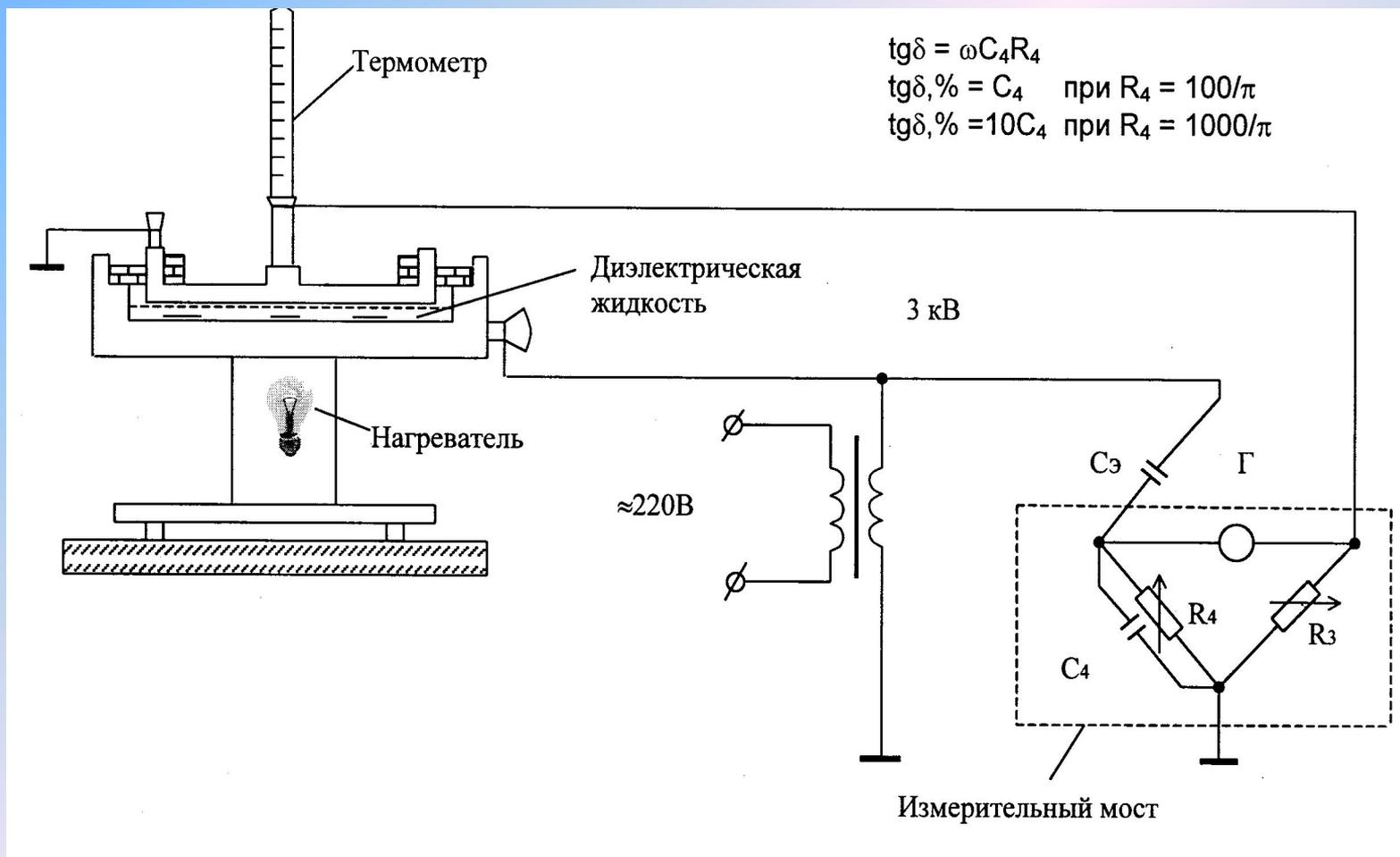
Зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла от температуры

# Требования к качеству эксплуатационных масел по пробивному напряжению

4

Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла (кВ)	
	Предназначенного к заливке в электрооборудование	После заливки в электрооборудование
До 15 кВ включительно	-	20
До 35 кВ включительно	-	25
От 60 до 150 кВ включительно	40	35
От 220 до 500 кВ включительно	50	45
750 кВ	60	55

# Схема измерения $\text{tg}\delta$



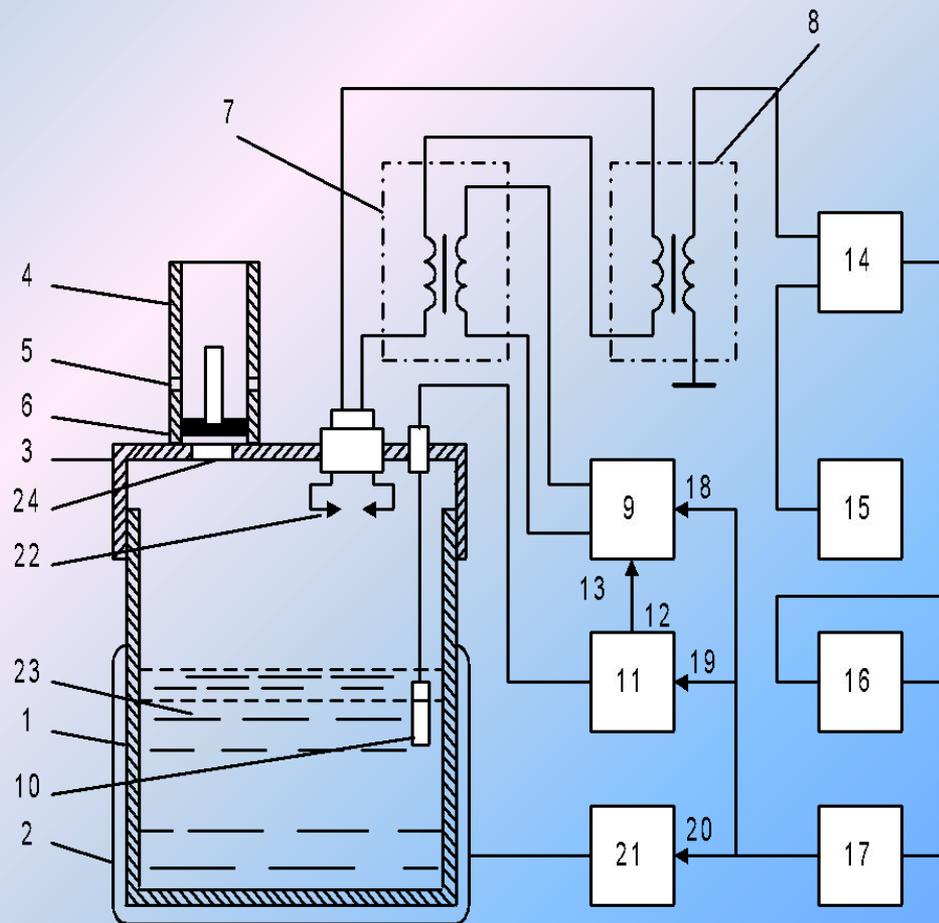
## Требования к качеству эксплуатационных масел по tgδ

Категория электрооборудования	Предельно допустимое значение показателя качества масла	
Силовые и измерительные трансформаторы, высоковольтные вводы	предназначенного к заливке в электрооборудова ние	после заливки в электрообору дование
110-150кВ включительно	8/12	10/15
220-500кВ включительно	5/8	7/10
750 кВ	2/3	3/5

Примечание. В числителе tgδ масла приведены при 70, в знаменателе при 90°C.

# Устройство для автоматизированного измерения температуры вспышки горючих жидкостей

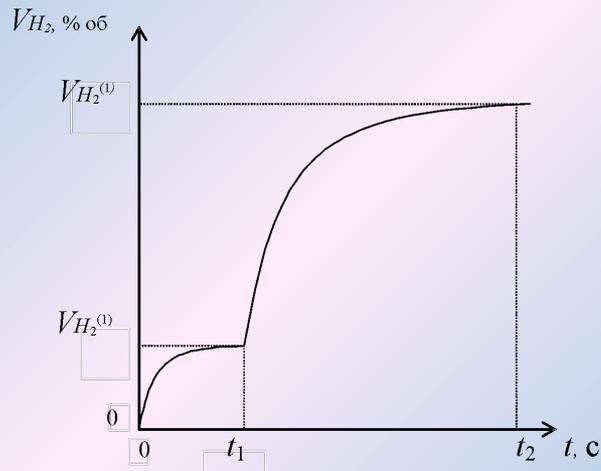
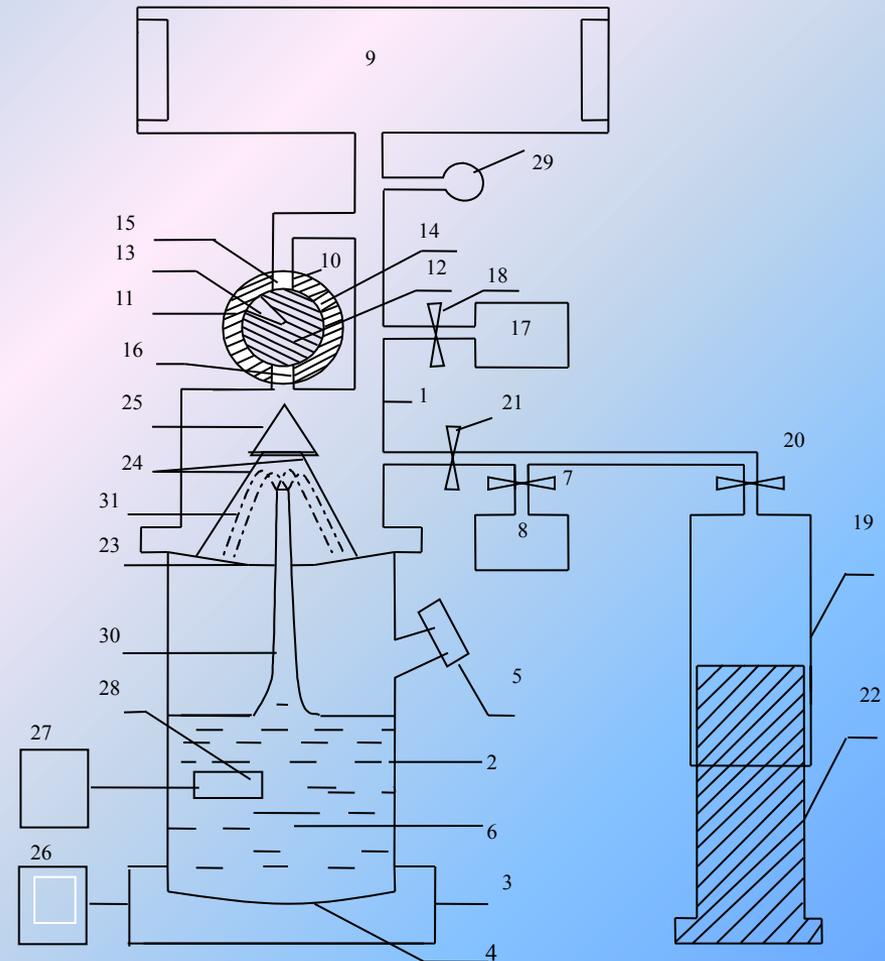
- 1 – закрытая камера; 2 – нагреватель; 3 – крышка тигля; 4 – цилиндр; 5 – вентиляционные отверстия; 6 – поршень; 7 – высоковольтный трансформатор; 8 – промежуточный трансформатор; 9 – генератор высоковольтных импульсов; 10 – датчик температуры; 11 – блок индикации температуры, 14 – делитель сигнала; 15 – генератор высокой частоты; 16 – счетчик; 17 – запорный элемент; 21 – нагреватель; 22 – электрический разрядник; 23 – испытуемая жидкость



# Устройство для измерения водорода и влаги

чувствительность прибора по определению водорода -  $10^{-6}$  % об, содержание влаги - 0,1 мг/т

- 1 – верхняя часть емкости; 2 – нижняя часть емкости; 3 – сферический ультразвуковой пьезокерамический преобразователь; 4 – излучающая поверхность с радиусом кривизны  $R$ ; 5 – ввод; 6 – диэлектрическая жидкость; 7, 18, 20, 21 – вентили; 8 – вакуумный насос; 9 – оптическая кювета; 10 – многоходовой кран; 11 – внешняя неподвижная часть крана; 12 – притертая внутренняя часть крана; 13 – емкость для засыпки гидроксида кальция; 14, 15, 16 – отверстия; 17 – дополнительная емкость для гидроксида кальция; 19 – балластная емкость; 22 – притертый поршень; 23 – конический экран; 24 – упор; 25 – конический распределитель; 26 – генератор; 27 – блок индикации температуры; 28 – датчик температуры; 29 – манометр

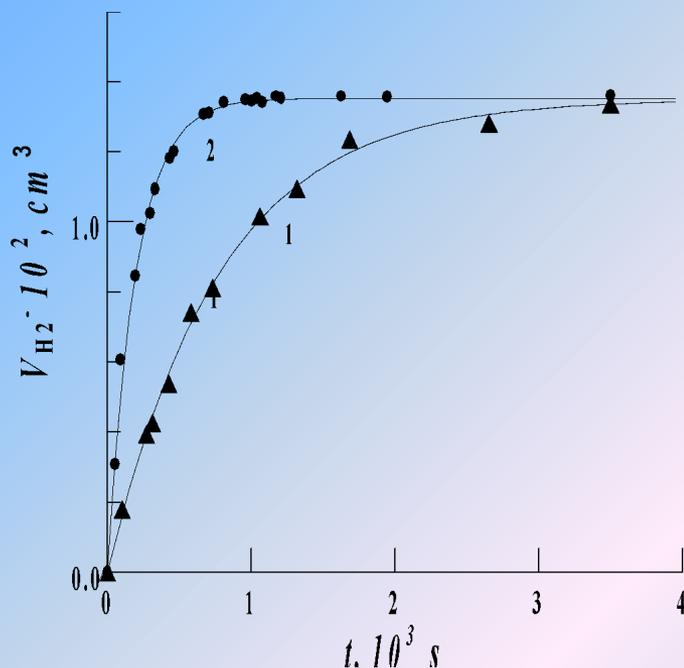


# Измерение коэффициента диффузии трансформаторного масла

9

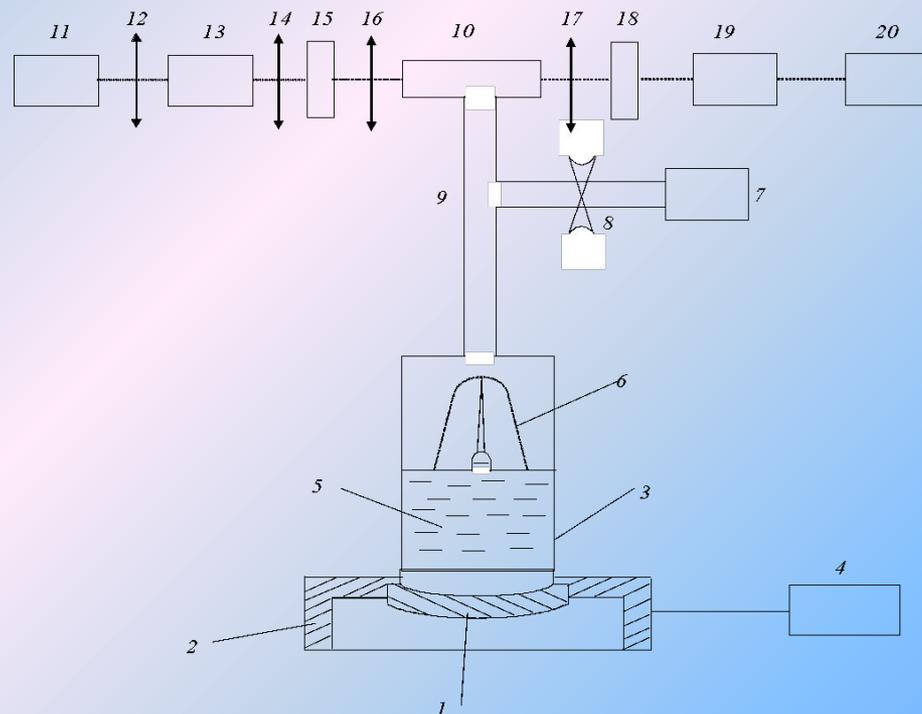
- Ультразвуковое воздействие ускоряет диффузионные процессы в жидкости в 10...15 раз.

$$D = 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$$



Зависимости объема  $V_{\text{H}_2}$  выделившегося водорода из предварительно насыщенного водородом трансформаторного масла марки ГК измерительную кювету в вакууме с остаточным давлением 100 Па: 1 – самопроизвольная десорбция; 2 – десорбция под действием ультразвука.

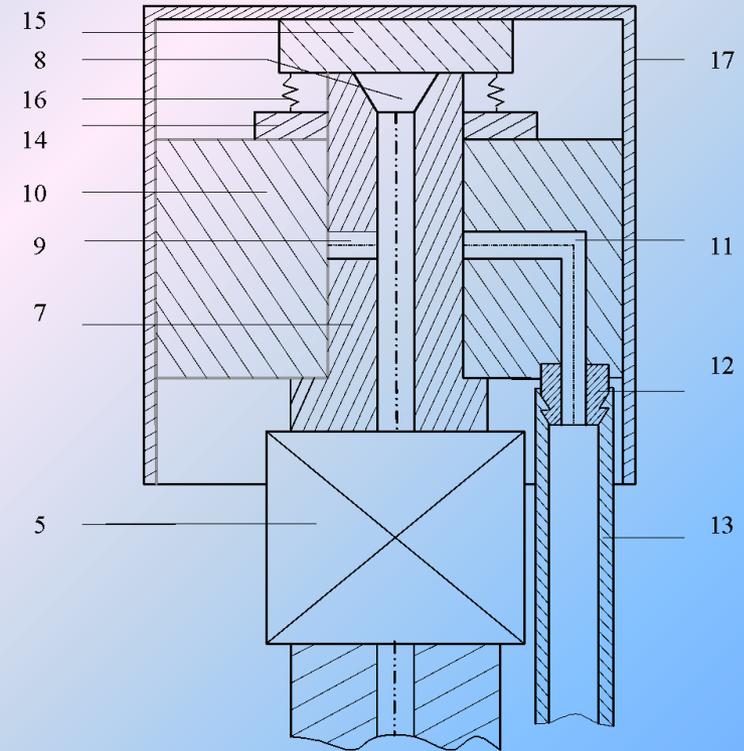
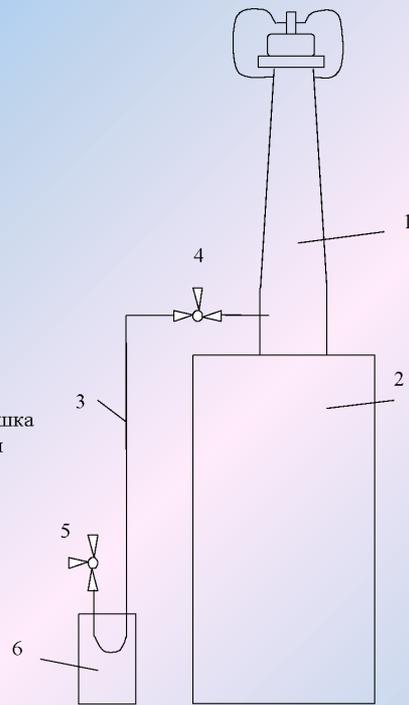
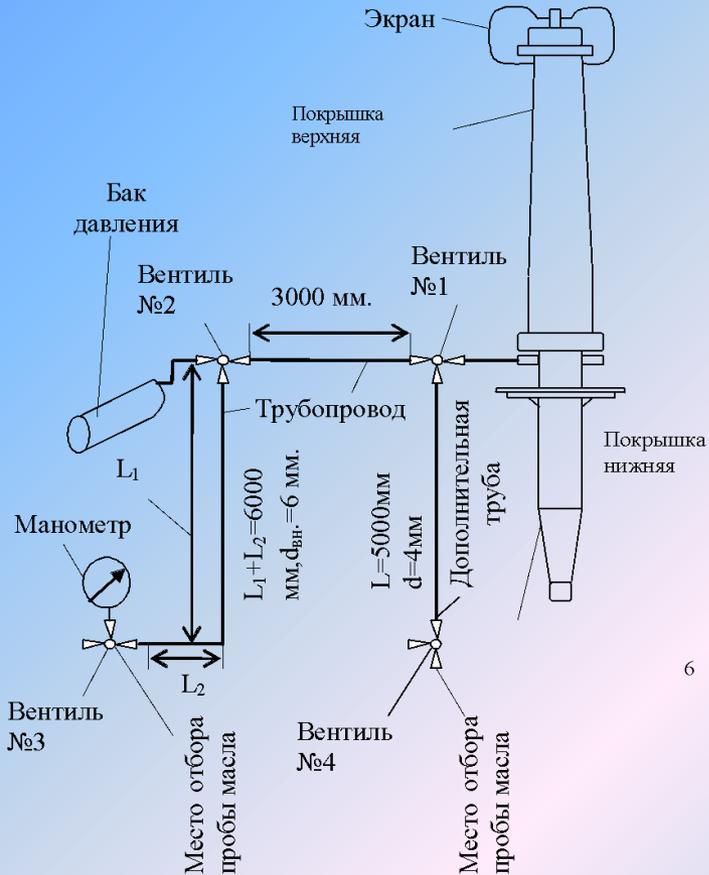
## Схема эксперимента



1 – пьезокерамический преобразователь; 2 – проводящая оправа; 3 – стеклянный стакан; 4 – высокочастотный генератор; 5 – трансформаторное масло; 6 – фонтан; 7 – форвакуумный насос; 8 – вентиль; 9 – соединительная труба; 10 – оптическая измерительная кювета; 11 – лазер; 12, 14, 17 – линзы; 13 – кювета со сжатым молекулярным водородом; 15, 18 – фильтры; 16 – объектив; 19 – монохроматор; 20 – ФЭУ сопряженной с персональным компьютером IBM

# Схема отбора проб масла на хроматографический анализ с герметичных вводов 500...750 кВ

# Устройство для отбора пробы 10 диэлектрической жидкости на хроматографический анализ



## Пробоотборник трансформаторного масла:

1 – высоковольтный ввод; 2 – силовой трансформатор или высоковольтный масляный выключатель; 3 – трубка; 5 – вентиль; 6 – опора; 5 – вентиль отбора проб; 7 – наконечник; 8 – конус; 9, 11 – отверстие; 10 – втулка; 12 – штуцер; 13 – отвод; 14 – гайка; 15 – колпачок; 16 – пружина; 17 – предохранительная крышка

# Устройство для очистки диэлектрической жидкости

Объемная плотность электрических пондеромоторных сил, действующих на жидкий диэлектрик, в системе СИ выражается следующим образом:

$$\vec{f} = -\frac{E^2}{\rho} \text{grad} \left( \frac{1}{2} \left( \rho(E^2) \frac{\partial \epsilon_a}{\partial \rho} \right) \right)$$

где  $E$  – напряженность электрического поля,  
 $\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость,  
 $\epsilon_0$  – электрическая постоянная  
 $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость,  
 $\rho$  – плотность среды

Для неполярных диэлектриков связь между  $\epsilon$  и  $\rho$  определяется известной формулой Клаузиуса-Мосотти

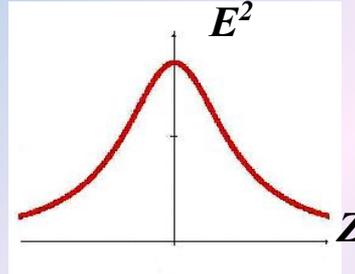
$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = k\rho$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от поляризуемости молекул диэлектрика

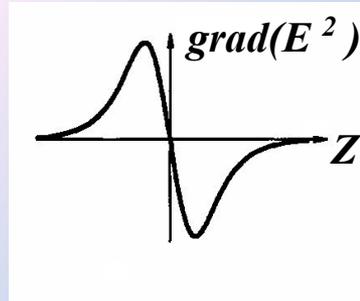
$$\rho \frac{\partial \epsilon_a}{\partial \rho} = \frac{1}{3} \epsilon_0 (\epsilon - 1)(\epsilon + 2)$$

$$\vec{f} = \frac{1}{3} \epsilon_0 (\epsilon - 1) E^2 \text{grad} \epsilon + \frac{\epsilon_0 (\epsilon - 1)(\epsilon + 2)}{6} \text{grad} E^2$$

В электростатическом поле на каждый элемент объема жидкого диэлектрика действует составляющая силы, зависящая от квадрата градиента напряженности электрического поля и направленная в область с наибольшей напряженностью электрического поля



Распределение напряженности электрического поля по высоте стенки сосуда (напротив одного витка спирали)



Зависимость осевой составляющей градиента квадрата напряженности на внутренней поверхности цилиндра (напротив одного витка спирали)

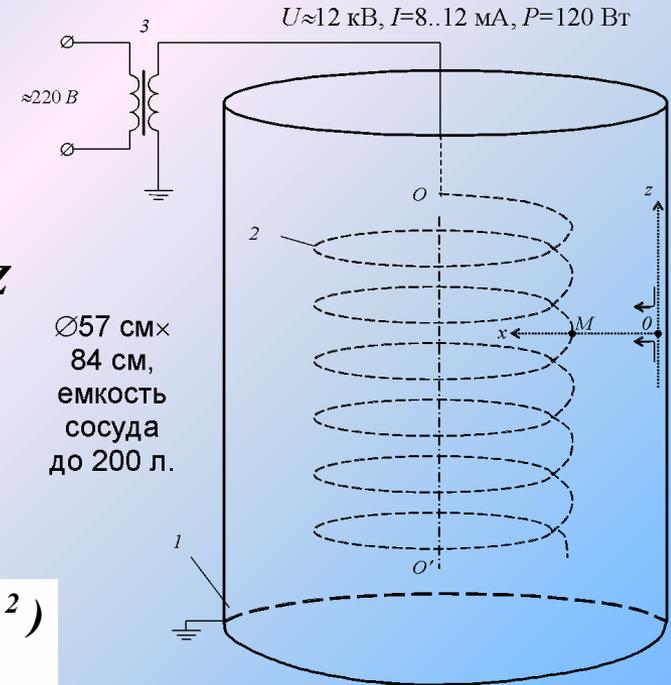
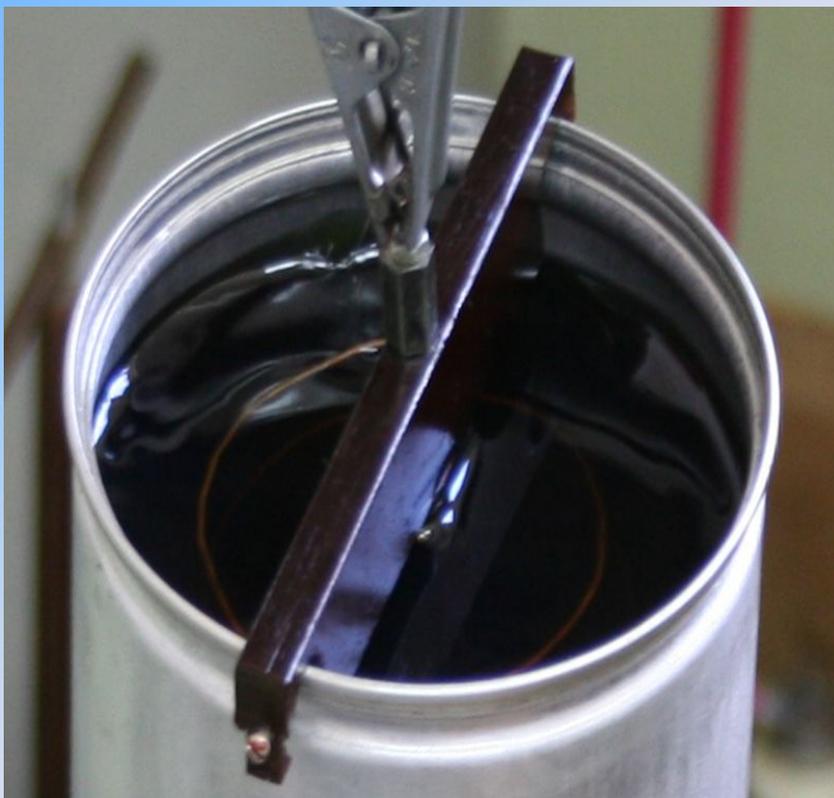


Схема эксперимента:  
 1 – цилиндрический сосуд;  
 2 – металлический электрод в виде спирали;  
 3 – высоковольтный трансформатор

ИЗОБРАЖЕНИЕ СВОБОДНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ВО  
ВРЕМЯ ЭЛЕКТРОКОНВЕКТИВНОЙ  
ОЧИСТКИ



ТРАНСФОРМАТОРНОЕ МАСЛО  
ДО И ПОСЛЕ ОЧИСТКИ



До очистки

После очистки

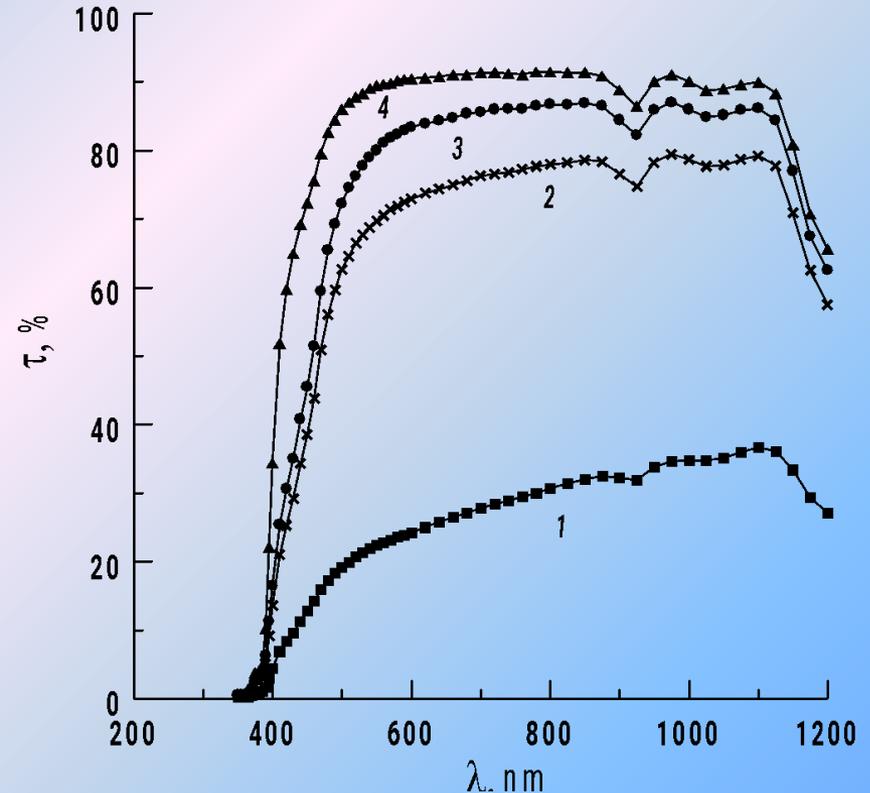
**Пробивное напряжение  $U_{пр}$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$ , класс чистоты, влагосодержание и концентрация газов проб трансформаторного масла до и после электроконвективной очистки**

Состояние масла	$U_{пр}$ , кВ/см	$\text{tg}\delta$ , %	Класс чистоты	Влагосодержание (mass)	Концентрация газов, % (об)				
					$\text{CO}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$
До очистки	70	20.4	15	0.0053	0.229	0.011	0.267	0.249	0.061
После первого этапа очистки	149	11.2	11						
После второго этапа очистки	215	11	9	0.0017	0.15	0.002	0.053	0.06	0.018

Для очистки одного литра трансформаторного масла расход электрической энергии составляет менее 0,01 кВт · ч.

# Зависимость коэффициента оптического пропускания $\tau$ через стеклянную кювету толщиной 5 мм от состояния трансформаторного масла

- 1 - до очистки;
- 2 - после процесса первичной очистки в течение 8 часов;
- 3 - после вторичной очистки;
- 4 - свежее масло марки Т-1500



Спасибо за внимание