

Трансформаторы Автотрансформаторы

классификация,
режимы работы,
технологии изготовления

Нормативные документы

ГОСТ СО	Наименование	Дата введения
11677-85	Трансформаторы силовые. Общие технические условия	01.07.1986
3484.1-88	Трансформаторы силовые. Методы электромагнитных испытаний	30.08.1988
14209-85	Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки	01.07.1985
СО 153-34.20.501-2 003	ПТЭ электрических станций и сетей РФ п.п.5.3. Силовые трансформаторы и масляные шунтирующие реакторы	20.06.2003
14209-97	Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов (взамен ГОСТ14209-85)	01.01.2002 статус: не действует с 27.03.2008
30830-2002	Трансформаторы силовые. Общие положения	01.01.2004

Номинальные напряжения свыше 1000 В (ГОСТ 721-77)

Номинальные междуфазные напряжения, кВ								Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования
Сети и приемники	Генераторы и синхронные компенсаторы	Трансформаторы и автотрансформаторы без РПН			Трансформаторы и автотрансформаторы с РПН			
		первичные обмотки	вторичные обмотки		первичные обмотки	вторичные обмотки		
(6) 10 20	(6,3) 10,5 21,0	(6) или (6,3)* 10 или 10,5* 20 -	(6,3) или (6,6) 10,5 или 11,0 - 22,0	(6) или (6,3)* 10 или 10,5* 20 или 21,0*	(6,3) или (6,6) 10,5 или 11,0 - 22,0	(7,2) 12,0 24,0		
35	-	35 -	38,5 -	35 или 36,75	- 38,5	40,5		
110	-	- -	121 -	110 или 115	115 или 121	126		
220	-	- -	242 -	220 или 230	230 или 242	252		
330	-	330 -	347 -	330 -	330 -	363		
500	-	500 -	525 -	500 -	500 -	525		
750	-	750 -	787 -	750 -	750 -	787		
1150	-	- -	- -	1150 -	- -	1200		

* Для трансформаторов и автотрансформаторов, присоединяемых непосредственно к шинам генераторного напряжения электрических станций или к выводам генераторов.

Требования к электрической изоляции (ГОСТ 1516.3-96)

Классы напряжения электрооборудования

В киловольтах

Класс напряжения электрооборудования	Наибольшее рабочее напряжение электрооборудования	Номинальное напряжение электрической сети	Наибольшее длительно допускаемое рабочее напряжение в электрической сети
1	1,1	1,0	1,1
3	3,6	3,0	3,5
		3,15	3,5
		3,3	3,6
6	7,2	6,0	6,9
		6,6	7,2
10	12,0	10,0	11,5
		11,0	12,0
15	17,5	13,8	15,2
		15,0	17,5
		15,75	17,5
20	24,0	18,0	19,8
		20,0	23,0

Примечание - Настоящий стандарт распространяется также на изоляцию сторон СН и НН (классов напряжения, указанных в таблице 1) силовых трансформаторов, класс напряжения обмотки ВН которых отличается от указанных в таблице 1.

Расчет токов К.З.

Выбор электрооборудования

(РД 153-34.0 20.527-98)

- П.п. 3.2.5. В тех случаях, когда отсутствуют данные о фактически используемых в условиях эксплуатации коэффициентах трансформации трансформаторов и автотрансформаторов, допустимо их принимать равными отношению средних номинальных напряжений сетей, связанных этими трансформаторами и автотрансформаторами.
- При этом рекомендуется использовать шкалу средних номинальных напряжений сетей $U_{ср.ном. кВ}$
- **3,15;6,3;10,5;13,8;15,75;18;20;24;37;115;154;230;340;515;770;1175**

ТРАНСФОРМАТОРЫ СИЛОВЫЕ

(ГОСТ 11677-85)

Силовые трансформаторы классифицируют:

по условиям работы – (трансформаторы, предназначенные для работы в нормальных и специальных условиях).

по исполнению изоляции и способу охлаждения обмоток (масляные, заполненные негорючим жидким диэлектриком, сухие и трансформаторы с элегазовой (SF₆ изоляцией); с естественным охлаждением окружающим воздухом, принудительной вентиляцией и т.д.

по функциональному назначению и конструктивным особенностям (повышающие или понижающие, однофазные или трехфазные, двух или трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы и т.д.).

Силовые трансформаторы классифицируются по назначению следующим образом:

- **повышающие**

$$U_{НН_{ном}} = U_{Г_{ном}}$$

$$U_{ВН_{ном}} = (1,05 - 1,1)U_{ном}$$

- **понижающие**

$$U_{НН_{ном}} = (1,05 - 1,1)U_{ном}$$

$$U_{ВН_{ном}} = (1,0 - 1,05)U_{ном}$$

$$U_{Г_{ном}} = 6,3 ; 10,5 ; 13,8 ; 15,75 ; 18 ; 20 ; 24кВ$$

$$U_{ном} = 0,4; 0,66; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; 1150кВ$$

Повышающие трансформаторы либо не имеют средств регулирования коэффициента трансформации, либо оснащены ПБВ (переключение без возбуждения).

Понижающие трансформаторы оснащены РПН

(регулирование Кт под нагрузкой) при $U_{ВН_{ном}} \geq 35кВ$,
либо ПБВ (распределительные трансформаторы 6(10)кВ.

Регулирование коэффициента трансформации без возбуждения (ПБВ) и под нагрузкой (РПН)

Коэффициент трансформации трансформаторов, оснащенных ПБВ, стандартно изменяется в диапазоне

$$\Delta k_T = \pm 2 \times 2,5\%$$

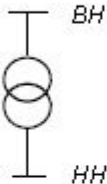
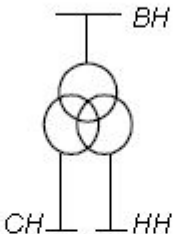
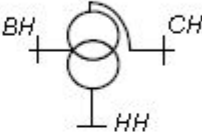
$$k_T = \frac{U_{ВН\text{ ном}} \left(1 + n \cdot \frac{\Delta U}{100}\right)}{U_{НН\text{ ном}}},$$

где $\Delta U[\%]$ - степень регулирования, $\Delta U = 2,5\%$.
 $n = 0, \pm 1, \pm 2$, - число регулировочных ответвлений.

Устройства РПН максимально позволяют регулировать коэффициент трансформации в диапазоне:

$$\Delta k_T = \pm 9 \times 1.78\%$$

Обозначения на схемах:

двухобмоточные	трехобмоточные	автотрансформаторы
		

Силовые трансформаторы в зависимости от конструктивных особенностей (сухие, масляные) допускают разную перегрузку по мощности.

На понижающих подстанциях число трансформаторов обычно равно двум, исключения возможны на начальных этапах развития сети (один трансформатор).

Автотрансформаторы

Автотрансформатор представляет собой многообмоточный трансформатор, у которого две обмотки связаны электрически. В энергосистемах применение получили трехобмоточные автотрансформаторы (АТ) трехфазные и группы из однофазных АТ. Их широко используют по соображениям экономического порядка вместо обычных трансформаторов для соединения эффективно заземленных сетей с напряжением 110 кВ и для связи близких номинальных напряжений (220/110кВ; 330/220кВ и т.д).

В отличие от трансформатора, в автотрансформаторе часть мощности передается непосредственно, без трансформации посредством гальванической связи между последовательной и общей обмотками.

Полную мощность, передаваемую с первичной стороны автотрансформатора на вторичную, называют **проходной**, мощность, передаваемую магнитным полем, **трансформаторной**.

Отношение трансформаторной мощности к проходной, называется коэффициентом типовой мощности автотрансформатора (коэффициент выгодности).

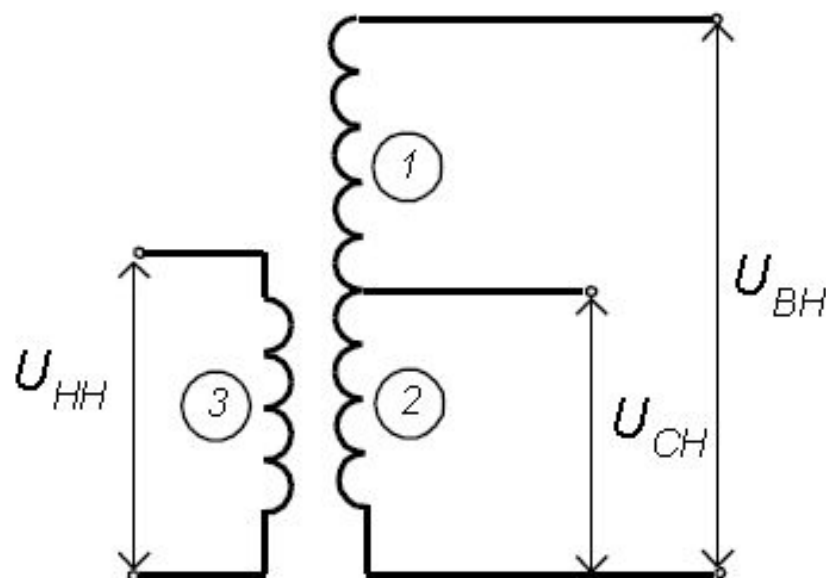


Рис. Трехфазный трехобмоточный автотрансформатор (одна фаза).

- 1- последовательная обмотка (Π)
- 2- общая обмотка (О)
- 3- обмотка НН

$$U_{BHном} = (1 + 1,05) \cdot U_{сетином}$$

$$U_{CHном} = (1 + 1,05) \cdot U_{сетином}$$

$$U_{HHном} = 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20$$

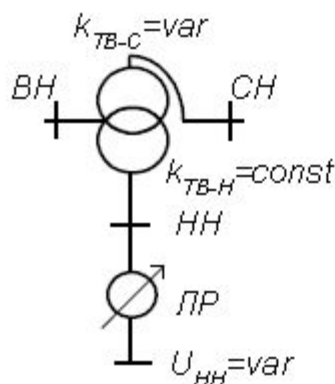
$$S_{ATном} = \sqrt{3} \cdot U_{BHном} \cdot I_{BHном}$$

Номинальная мощность АТ ($S_{AT\text{ ном}}$), передаваемая со ступени ВН на ступень СН при отсутствии нагрузки на ступени НН (проходная мощность при номинальных условиях)
 Типовая (трансформаторная) мощность, на которую рассчитывается последовательная обмотка.

$$S_{\text{тип}} = \sqrt{3} \cdot (U_{ВН\text{ ном}} - U_{СН\text{ ном}}) \cdot I_{ВН\text{ ном}} = \sqrt{3} \cdot U_{ВН\text{ ном}} \cdot I_{ВН\text{ ном}} \cdot \left(1 - \frac{U_{СН\text{ ном}}}{U_{ВН\text{ ном}}}\right) = S_{AT\text{ ном}} \cdot \alpha$$

α - коэффициента выгоды, которым обусловлена целесообразность применения АТ.

если $U_{СН\text{ ном}} \rightarrow U_{ВН\text{ ном}}$, то $S_{\text{тип}} \rightarrow 0$



Как правило, автотрансформаторы оснащены устройствами РПН на ступени среднего напряжения (СН), либо в нейтрали.

Нормальные условия работы

Высота установки над уровнем моря - не более 1000 м,
(для трансформаторов 750-1150 кВ - не более 500 м);.

**Среднесуточная температура воздуха - не более 30 °С,
среднегодовая температура воздуха - не более 20 °С.**

При температуре охлаждающей среды (воздуха или воды), отличающейся от среднесуточной и среднегодовой, при выборе номинальной мощности трансформатора должна быть учтена температура охлаждающей среды в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Структура обозначения

А	Автотрансформатор
—	Трансформатор
О	Однофазный
Т	Трехфазный
Р	С расщепленной обмоткой НН
С	Система охлаждения
М	
Д	
Ц	
Н	
Т	Трехобмоточный
—	Двухобмоточный
Н	Наличие РПН
С	Для собственных нужд

Основные каталожные данные трансформатора (пример)

- **ТРДЦН-63000/110**

(Т) - трехфазный

(Р) - расщепленная обмотка НН

(ДЦ) - охлаждение масла дутьем с принудительной циркуляцией масла

(Н) - регулирование коэффициента трансформации под нагрузкой (РПН)

63000 – номинальная мощность (кВА)

110 – класс напряжения обмотки ВН (кВ)

- $U_{ВН\text{ ном}} = 115\text{кВ}$
- $U_{НН\text{ ном}} = 6,3/10,5\text{кВ}$
- $Y_n/D-11$ – схемы соединения обмоток ВН/НН, группа 11
- $DK_T = \pm 9 \times 1,78\%$, РПН в нейтрали обмотки ВН (возможна установка РПН на линейном выводе)

Основные каталожные данные автотрансформатора (пример)

- **АТДЦТН-63000/220/110**

(А) -автотрансформатор

(Т) - трехфазный

(ДЦ) - охлаждение масла дутьем с
принудительной циркуляцией масла

(Т) - трехобмоточный

(Н) - регулирование коэффициента
трансформации под нагрузкой (РПН)

63000 – номинальная мощность (кВА)

220/110 – класс напряжения обмоток
ВН/СН (кВ)

- $U_{ВН\text{ ном}} = 230\text{кВ}$
- $U_{СН\text{ ном}} = 121\text{кВ}$
- $U_{НН\text{ ном}} = 10,5\text{кВ}$
- ($S_{НН\text{ ном}} = 0,5 S_{АТ\text{ ном}}$)
- $Y_n/Y_n/D\ 0-11$ – схемы и группа соединения обмоток ВН/СН/НН,
- $D_{КТ} = \pm 6 \times 2\%$,
- РПН на стороне СН (возможна установка РПН в нейтрали)

Системы охлаждения трансформаторов

- **С** – естественная воздушная
до 1,6 МВА, до 15 кВ
- **М** – естественная масляная
до 16 МВА
- **Д** – естественная масляная + воздушное дутьё
до 80 МВА
- **ДЦ** – принудительная масляная + воздушное дутьё
от 63 МВА
- **Ц** – принудительная масляная + водяное охлаждение
от 160 МВА
- **Н** – охлаждение негорючим жидким диэлектриком

Соответствие обозначений систем охлаждения трансформаторов (Россия)-МЭК

- масляного - с естественным охлаждением

(М) - ONAN,

- масляного - с вентиляцией (дутьем)

(Д) - ONAF,

- масляного с дутьем и принудительной циркуляцией масла

(ДП или ДЦ) - OFAF,

- масляного - с циркуляцией масла через водоохладитель

(МВ или МЦ) - OFAN,

- масляного — с принудительной циркуляцией масла через водоохладитель

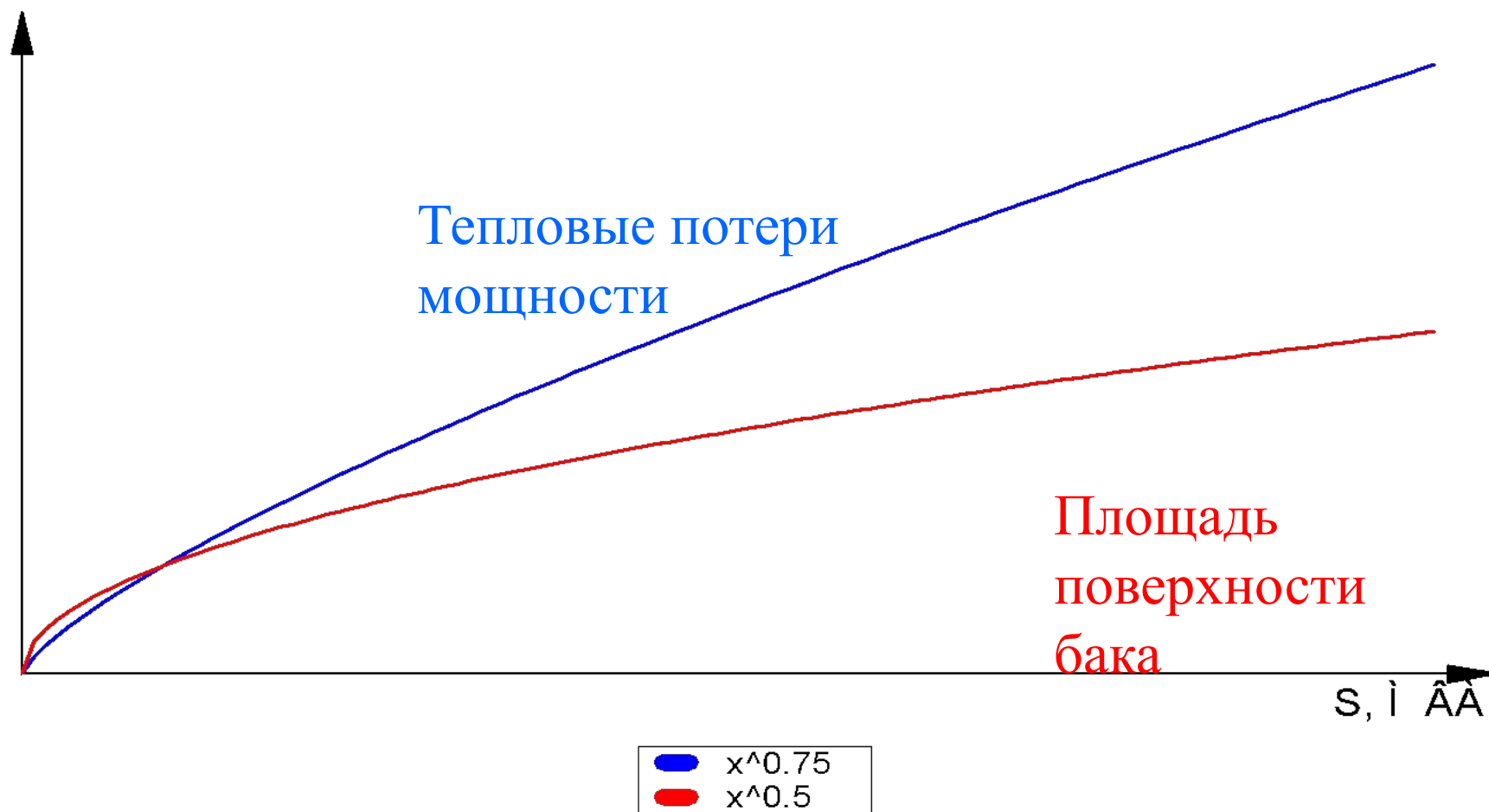
(Ц) - OFWF.

- сухого, с естественным воздушным охлаждением **(С) – AN**

- сухого, в защитном кожухе, герметичного **(СЗ ,СТ) – ANAN**

- сухого, с вентиляцией (СД) - **ANAF**

Охлаждение трансформаторов



Мощность трансформатора

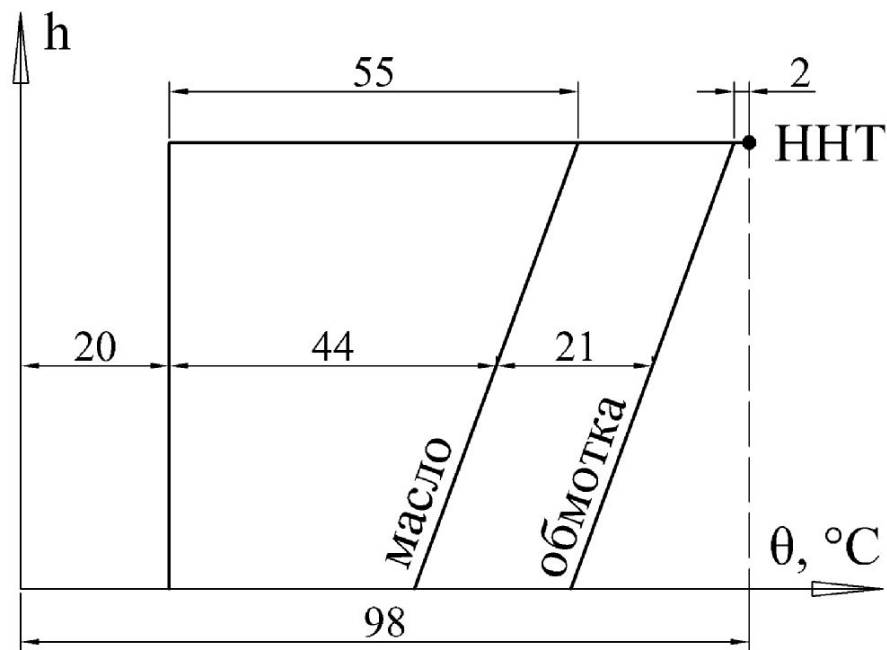
Нагрев обмоток и магнитопровода трансформаторов

Причины нагрева:

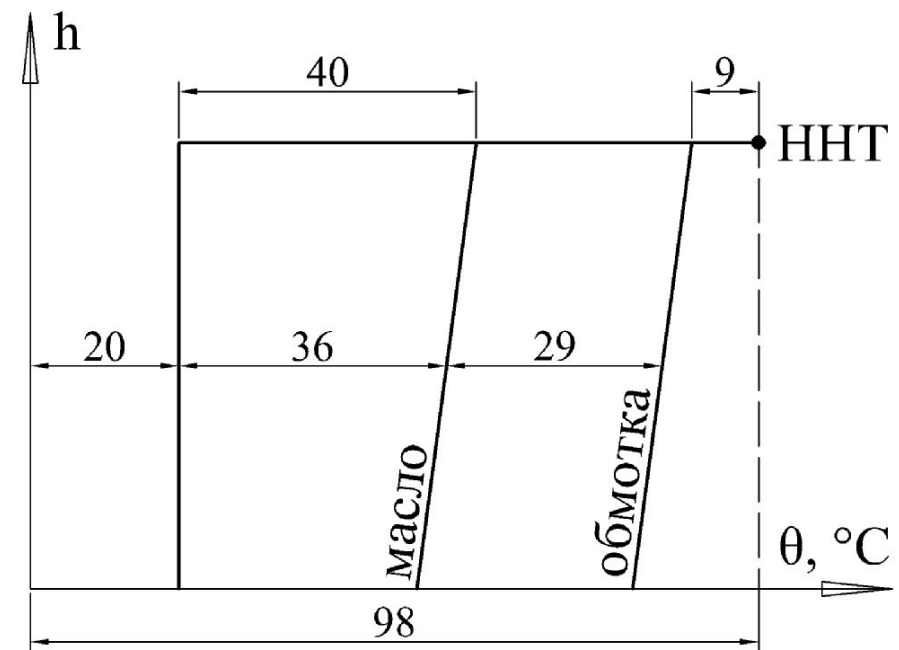
- токи в обмотках;
- магнитный поток в стали магнитопровода;
- вихревые токи в стали магнитопровода и бака

- При повышении температуры изоляции на 6°C от 85°C (в средней части обмотки) при номинальной нагрузке, срок службы изоляции снижается вдвое

Тепловая диаграмма трансформатора. Наиболее нагретая точка (ННТ)



Системы охлаждения М и Д



Системы охлаждения ДЦ и Ц

Жидкие негорючие диэлектрики

Хлордифенилы («Совол», «Совтол», «Калория-2»)

- высокая токсичность
- сильное влияние на озоновый слой

1976 г. – Монреальский Протокол

2002 г. – Стокгольмская конвенция

- Великобритания - диэлектрики на основе пентаэритрита («Midel», «Formel NF»)
- Германия - диэлектрики на основе фталевой кислоты («Bayelectrol»)
- США, Германия - компания Cooper (масло «FR3TM»)
- Россия - силиконы или кремнийорганические жидкости. («Софэксил»)

Инертные газы

- Элегаз (SF_6)
- **Новая газовая смесь, основанная на фторокетоне**, — это химическое соединение, которое было разработано ABB для КРУ вместе с компанией ZM . Потенциал глобального потепления (ПГП) новой газовой смеси почти на 100% ниже, чем у SF_6 ,

Номинальная мощность трансформатора

- **Мощность, на которую может быть нагружен трансформатор непрерывно в течение всего срока службы (не менее 20 лет) при нормальных температурных условиях охлаждающей среды.**
- **Согласно ГОСТ 14209-85 и 11677-85 нормальные температурные условия соответствуют среднегодовой температуре охлаждающей среды 20°C.**
- **При изменении температуры изоляции на 6°C от среднего ее значения (85 °C) при номинальной нагрузке, срок службы изоляции изменяется вдвое (сокращается при повышении температуры или увеличивается при ее понижении).**

Режимы работы трансформатора

Режим систематических нагрузок

Режим циклических нагрузок, в течение части цикла которого температура охлаждающей среды может быть более высокой и ток нагрузки превышает номинальный.

С точки зрения термического износа такая нагрузка эквивалентна номинальной нагрузке при номинальной температуре охлаждающей среды.

Термический износ, эквивалентный номиным условиям эксплуатации, достигается за счет понижения температуры охлаждающей среды или тока нагрузки в течение остальной части цикла.

При планировании нагрузок этот принцип может быть распространен на длительные периоды (процент увеличения за процент снижения).

Перегрузка трансформатора

- **Перегрузка трансформатора** - нагрузка, при которой расчетный износ изоляции обмоток, соответствующий установившимся превышениям температуры, превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы.
- **Перегрузки трансформатора могут быть аварийные и систематические.**
- Перегрузочную способность трансформатора определяют в зависимости от заданного графика нагрузки (реальный или расчетный) потребителя .

Режим продолжительных аварийных перегрузок

- **Режим циклических нагрузок, возникающий в результате продолжительного выхода из строя некоторых элементов сети**, которые могут быть восстановлены только после достижения постоянного значения превышения температуры трансформатора.
- Это не обычное рабочее состояние, однако может длиться в течение недель или даже месяцев и вызывать значительный термический износ.

Режим кратковременных аварийных перегрузок

- **Режим чрезвычайно высокой нагрузки, вызванный непредвиденными воздействиями,** которые приводят к значительным нарушениям нормальной работы сети, при этом температура наиболее нагретой точки проводников достигает опасных значений.
- Однако, на короткий период времени этот режим может быть предпочтительнее других.
- **Допустимая продолжительность такой нагрузки меньше тепловой постоянной времени трансформатора и обычно продолжительность перегрузки составляет менее получаса.**

Продолжительная аварийная (послеаварийная) перегрузка масляных трансформаторов (ГОСТ 14209-85, 11677-85)

- с естественной циркуляцией масла (М),
- с естественной циркуляцией дутьем (Д),
- с дутьем и принудительной циркуляцией масла (ДЦ),
- с принудительной циркуляцией масла через водоохладитель (Ц),

при первоначальной нагрузке не более $0,8 \cdot S_{\text{ном}}$ допускается перегрузка (%) :

40 % в течение 6 часов при температуре охлаждающего воздуха не более чем $+ 20^{\circ}\text{C}$

30 % в течение 4 часов при температуре охлаждающего воздуха $+ 30^{\circ}\text{C}$.

Для трансформаторов работающих параллельно, принимают следующие значения коэффициента загрузки:

- в нормальном режиме

$$\beta_{нр} = \frac{S_n}{n_T \cdot S_{Tном}} = 0,6 \div 0,7$$

S_n - мощность, нагрузки,

$S_{Tном}$ - номинальная мощность трансформатора

n_T - число параллельно работающих трансформаторов

- в послеаварийном режиме, после отключения одного трансформатора

$$\beta_{нар} = \frac{S_n}{(n_T - 1) \cdot S_{Tном}} = 1,2 \div 1,5$$

Повышающие трансформаторы, работающие в блоке с генератором, выбираются на ту же мощность, что и генератор.

- **Допустимые нагрузки и аварийные перегрузки для трансформаторов мощностью свыше 100 МВА устанавливаются в инструкциях по эксплуатации.**
- Для сухих трансформаторов и трансформаторов с негорючим жидким диэлектриком - в стандартах или Технических Условиях на конкретные типы трансформаторов (**ГОСТ 11677-85**).
- В соответствии с ТУ № 3411-001-498-90-270-2005 (согласованы с ФСК ЕЭС России):
автотрансформаторы в зависимости от предшествующей нагрузки ($K_{загр} = 0,7$) и температуры охлаждающего воздуха во время перегрузки ($T = 25^{\circ}\text{C}$) допускают следующие кратности и длительности аварийных перегрузок:
 - 1,0 час- $K_{пер} = 1,4$;
 - 2,0 часа- $K_{пер} = 1,3$;
 - 4,0 часа- $K_{пер} = 1,2$.
- **ГОСТ 14209-97 утратил силу в РФ в 2007 году.**

Допустимая перегрузка сухих и масляных трансформаторов (ПТЭ)

- Для масляных и сухих трансформаторов, а также трансформаторов с жидким негорючим диэлектриком допускаются систематические перегрузки, значение и длительность которых регламентируются инструкциями заводов-изготовителей.
- В аварийных режимах допускается кратковременная перегрузка трансформаторов сверх номинального тока при всех системах охлаждения **независимо от длительности и значения предшествующей нагрузки и температуры охлаждающей среды в следующих пределах:**
- **Масляные трансформаторы:**
- перегрузка по току, %

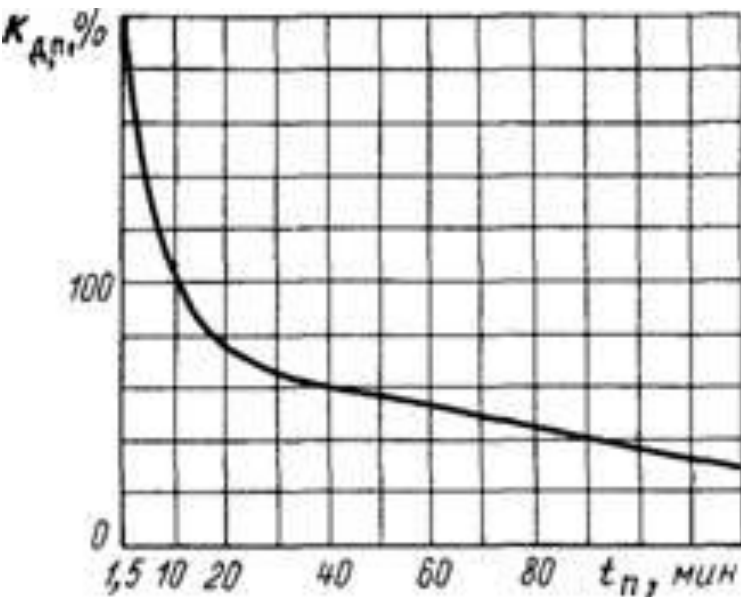
30	45	60	75	100
----	----	----	----	-----
- длительность перегрузки, мин.

120	80	45	20	10
-----	----	----	----	----
- **Сухие трансформаторы:**
- перегрузка по току, %

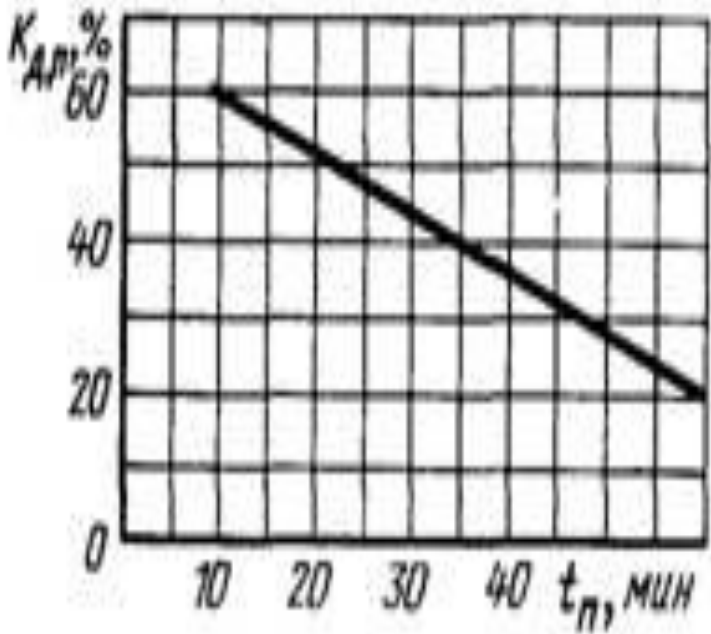
20	30	40	50	60
----	----	----	----	----
- длительность перегрузки, мин.

60	45	32	18	5
----	----	----	----	---
- При номинальной нагрузке трансформатора температура верхних слоев масла должна быть не выше 70-95 °С (в зависимости от системы охлаждения).

Кривая для определения допустимой аварийной перегрузки трансформаторов $K_{ДП}$ с системами охлаждения М, Д, ДЦ и Ц в зависимости от длительности перегрузки t_n



Кривая для определения допустимых аварийных перегрузок $K_{ДП}$ для сухих трансформаторов в зависимости от длительности перегрузки t_n .



**Допустимые аварийные перегрузки трансформаторов
промышленных подстанций при предшествующей нагрузке,
не превышающей 0,8 S_{ном} (ГОСТ 14209-85)**

Перегрузка, час	Температура охлаждающего воздуха, °C									
	-10		0		+10		+20		+30	
	М, Д	ДЦ	М, Д	ДЦ	М, Д	ДЦ, Ц	М, Д	ДЦ, Ц	М, Д	ДЦ, Ц
0,5	2	1,8	2	1,8	2	1,7	2	1,6	2	1,5
1	2	1,7	2	1,7	2	1,6	2	1,5	1,9	1,5
2	2	1,6	1,9	1,6	1,8	1,5	1,7	1,4	1,6	1,4
4	1,7	1,5	1,7	1,5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
8	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,3
12	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,3
24	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,2	1,3

Параллельная работа трансформаторов

Необходимость параллельной работы:

- 1) резервирование электроснабжения при авариях;
- 2) резервирование электроснабжения при ремонтах;
- 3) уменьшение потерь в периоды малых нагрузок подстанции путем отключения части параллельно работающих трансформаторов.

Нагрузка должна распределяться между трансформаторами

пропорционально их номинальной мощности $S_{ном}$.

Условия параллельной работы:

- 1) одинаковые группы соединений обмоток;
- 2) равные первичные и вторичные номинальные напряжения (0,5%);
- 3) равные напряжения короткого замыкания (10%);
- 4) соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3.

Пример неравномерного распределения нагрузки между трансформаторами

$$S_{\text{нагр}} = 740 \text{ кВА}$$

$$S_{1\text{ном}} = 180 \text{ кВА} \quad S_{2\text{ном}} = 240 \text{ кВА} \quad S_{3\text{ном}} = 320 \text{ кВА}$$

$$u_{\text{к1}} = 5,4\% \quad u_{\text{к2}} = 6\% \quad u_{\text{к3}} = 6,6\%$$

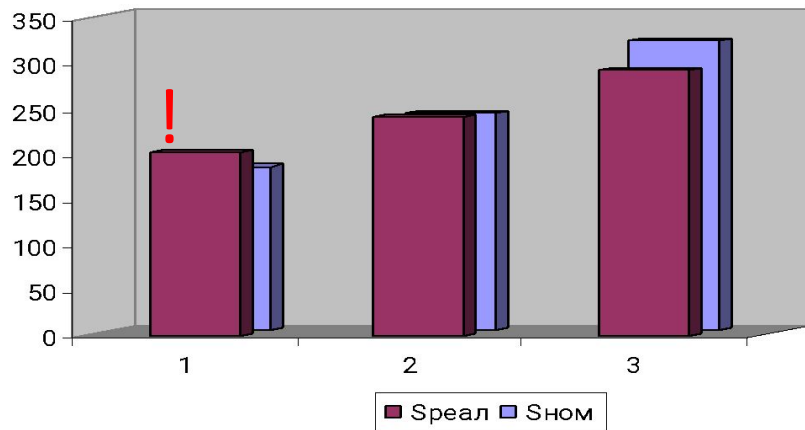
$$S_1 = 202 \text{ кВА} \quad S_2 = 243 \text{ кВА} \quad S_3 = 295 \text{ кВА}$$

перегружен на 12%

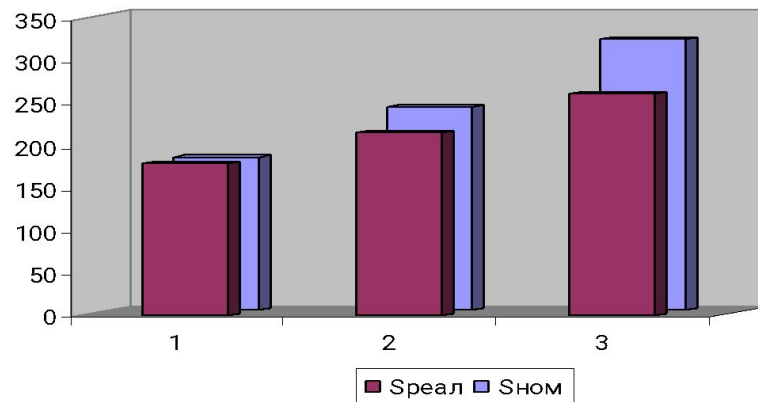
недогружен на 8%

Вывод. Необходимо снизить нагрузку до $S_{\text{нагр}} = 660 \text{ кВА}$
80 кВА установленной мощности недоиспользовано!

S, кВА



S, кВА



Вывод. Необходимо, чтобы
трансформаторы имели одинаковые
значения u_k .

Технологии изготовления трансформаторов

Масляные распределительные трансформаторы ТМ, ТМЗ, ТМГ

Распределительные трансформаторы 6(10)/0,4 кВ Сном до 2500 (3150) кВА

Схемы соединения обмоток:

- **D/Y_n**
 - **Y/Y_n**
 - **Y/Z_n**
- Для трансформаторов малой мощности (от 25 до 250 кВА), защищаемых предохранителями со стороны высшего напряжения (ВН), безусловное преимущество имеет схема соединения обмоток Y/Z_n. Несколько меньший эффект дает схема D/Y_n. Схему Y/Y_n для таких трансформаторов применять не следует.

Схема соединения обмоток трансформаторов Y/Y_n может применяться в сравнительно редких случаях для более мощных трансформаторов при необходимости ограничения тока однофазного КЗ с целью повышения устойчивости коммутационной аппаратуры.

ВАКУУМНАЯ
УСТАНОВКА ПО
ЗАЛИВКЕ МАСЛА
в ТРАНСФОРМАТОРЫ



Масляный герметичный трансформатор ТМГ 10/0,4кВ





**Масляный герметичный трансформатор 6/0,4кВ типа ТМЗ
(замещение части объема бака азотной подушкой).**

Требуется систематическая подкачка азота для поддержания в баке не менее $0,2 \text{ кгс/см}^2$, из-за снижения давления азота даже при полной герметизации за счет поглощения азота маслом.

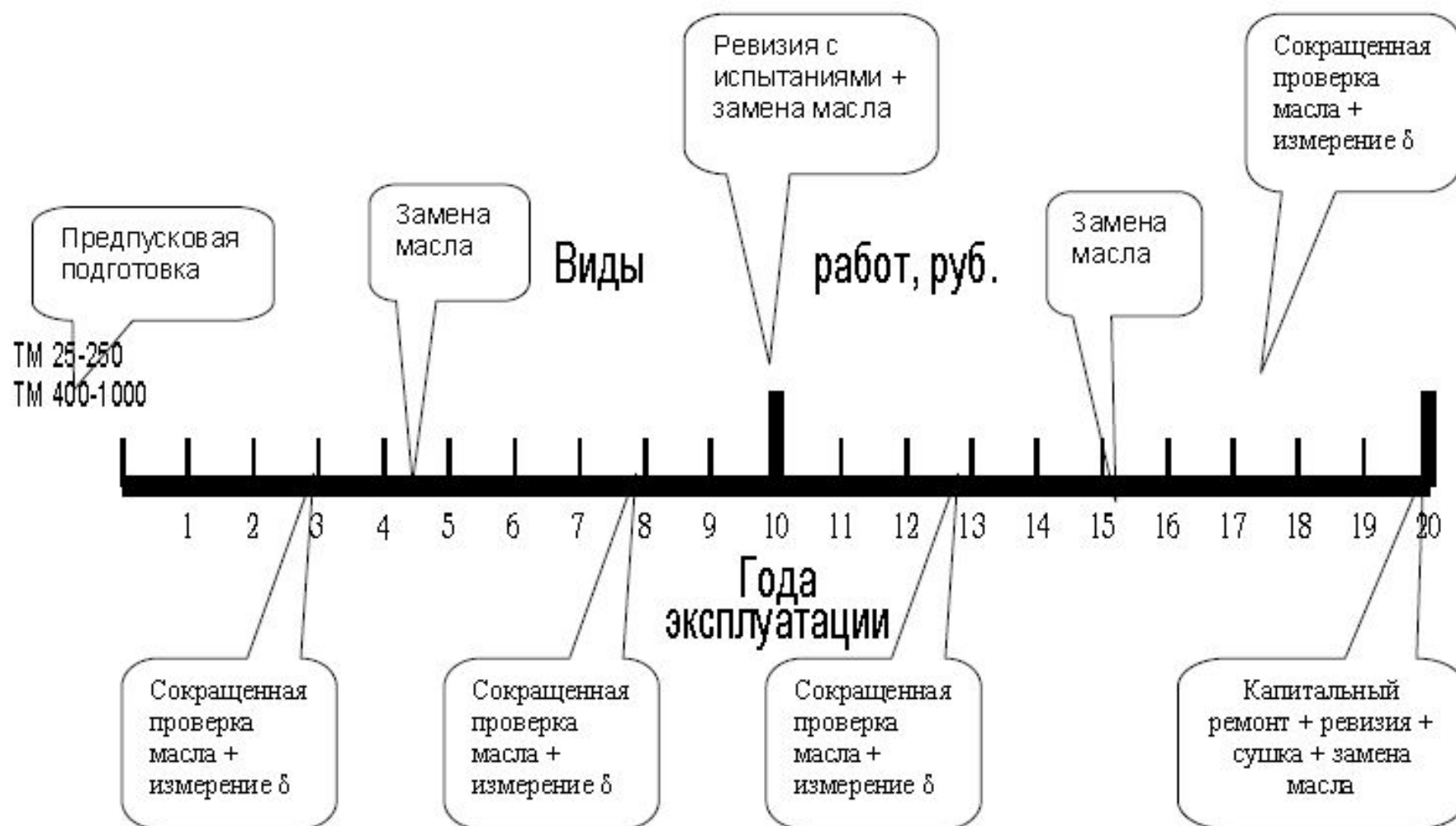
Масляный трансформатор ТМ 10/0,4кВ с расширительным баком для масла



Трансформатор ТМЖ 27,5 /0,4кВ масляный железнодорожный



**Расходы на обслуживание
трансформаторов серий ТМ или ТМЖ,
в течение срока их эксплуатации составят
от 40% до 63% их полной стоимости.**



Жидкие негорючие диэлектрики

Хлордифенилы («Совол», «Совтол», «Калория-2»)

- $\varepsilon = 5 \dots 6$ вместо 2 у тр.масла
- высокая токсичность
- сильное влияние на озоновый слой

1976 г. – Монреальский Протокол

2002 г. – Стокгольмская конвенция

- Великобритания - диэлектрики на основе пентаэритрита («Midel», «Formel NF»)
- Германия - диэлектрики на основе фталевой кислоты («Bayelectrol»)
- Россия - силиконы или кремнийорганические жидкости. («Софэксил»)

Масляные силовые трансформаторы и автотрансформаторы ($U_{ном} > 35 \text{ кВ}$)

Масляные трансформаторы и с РПН

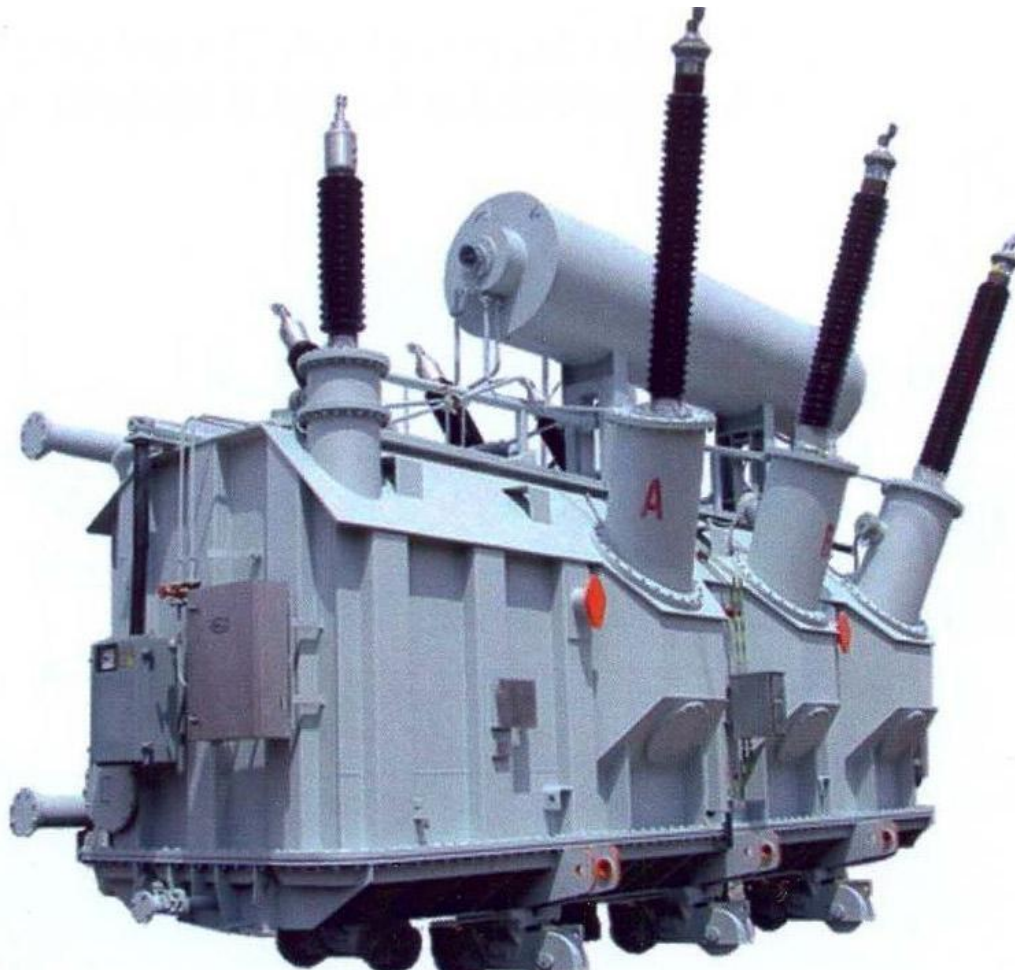


Активная часть масляного трансформатора с РПН





Трансформатор ТРДТН 80МВА 110/10/10кВ с расщепленной обмоткой НН и РПН на ступени ВН.



Трехфазный масляный трансформатор ТРДЦН- 63000/220кВ
Расщепленная обмотка НН. РПН на ступени ВН ($\pm 6 \times 2\%$)
Охлаждение - дутьем с принудительной циркуляцией масла (ДЦ) – OFAF.



**Трехфазный автотрансформатор 125МВА
220/110/10кВ**



**Однофазный АТ 750/500 кВ
трехфазной группы 3х417 МВА**



Трехфазный автотрансформатор 220кВ производства концерна ABB, оснащенный системой пожаротушения

Разрушение маслонаполненного трансформатора (в трансформаторе 63МВА 110кВ более 20-и тонн масла)



Сухие трансформаторы

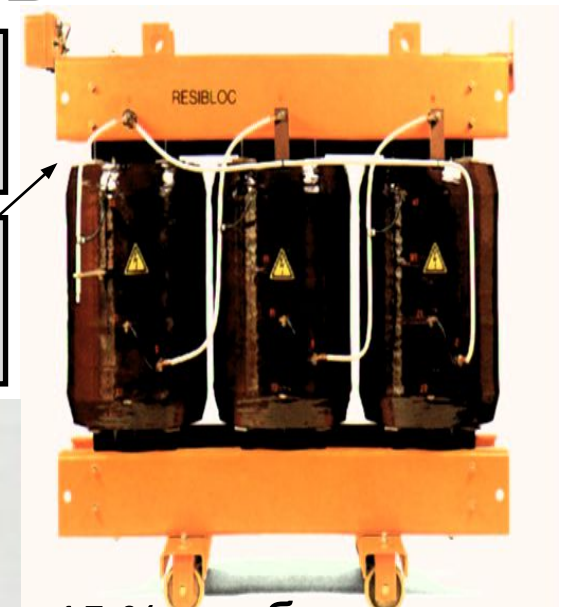
Российский рынок - свыше 30 000тр. ед./год

Технологии производства сухих трансформаторов



Открытые обмотки
(воздушно- барьерная
изоляция)

RESIBLOC®



15 % от объема
продаж



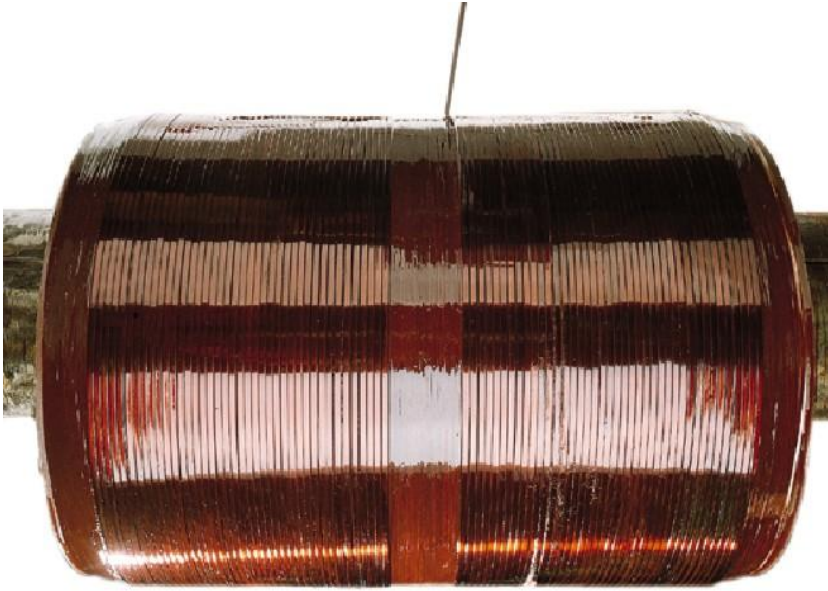
Вакуумная (матричная) заливка обмоток ВН

60 % от объема продаж

25 % от объема продаж

Технология RESIBLOC

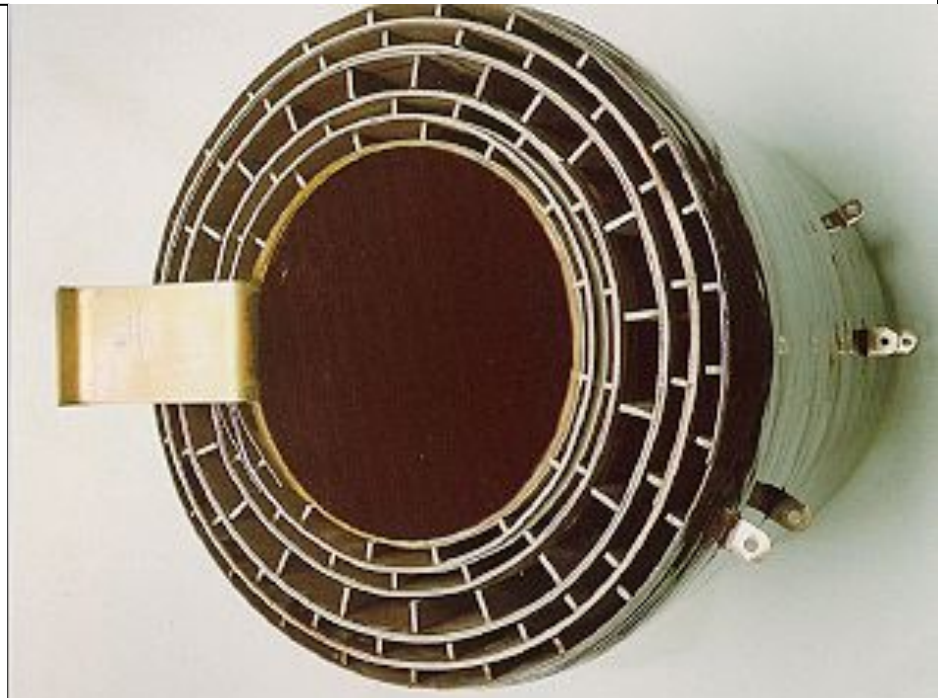
Обмотки ВН трансформатора RESIBLOC



Радиальная намотка эмалипровода , диагональная намотка стекловолокна (ровинга)

Блок ВН-НН фазы трансформатора RESIBLOC 2,5 МВА

- Единый блок (обмотка ВН и НН) на фазу
- Охлаждающая система с вертикальными каналами в обмотках ВН и НН.
- Обмотка НН выполнена фольгой (медной или Al) в виде концентрических катушек с межвитковой и торцевой изоляцией,
- Обмотка ВН - в виде концентрических катушек медным (или Al) проводом с эмаль изоляцией и армированием стеклонитью (ровингом).
- Провод и стеклонить в процессе намотки покрываются эпоксидной смолой с добавками.
- **Весь процесс изготовления обмоток происходит в атмосфере (без вакуумирования)**



Трансформатор RESIBLOC с принудительной вентиляцией



Трансформатор RESIBLOC 35кВ с принудительной вентиляцией и РПН с вакуумными контакторами



ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89) СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЕМЫЕ ОБОЛОЧКАМИ

Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

- **Стандарт распространяется на группу изделий:**

(изделия для обеспечения информационных технологий, электротехнические и приборостроения), напряжением до 72,5 кВ

Элемент	Цифры или	Значение для защиты оборудования	Значение для защиты людей	Ссылка
Буквы кода	IP	—	—	—
Первая характеристическая цифра	0 1 2 3 4 5 6	От проникновения внешних твердых предметов: нет защиты диаметром ≥ 50 мм диаметром $\geq 12,5$ мм диаметром $\geq 2,5$ мм диаметром $\geq 1,0$ мм пылезащищенное пыленепроницаемое	От доступа к опасным частям: нет защиты тыльной стороной руки пальцем инструментом проволокой проволокой проволокой	Раздел 5
Вторая характеристическая цифра	0 1 2 3 4 5 6 7 8	От вредного воздействия в результате проникновения воды: нет защиты вертикальное каплепадение каплепадение (номинальный угол 15°) дождевание сплошное обрызгивание действие струи сильное действие струй временное непродолжительное погружение длительное погружение	—	Раздел 6

Трансформаторы RESIBLOC в защитном кожухе



Трансформатор RESIBLOC 10кВ (морское исполнение)



**Трансформатор АВВ (вакуумная заливка обмотки ВН)
в защитном кожухе с блоком охлаждения : дутьем и
охлаждением воздуха водой по двухконтурной схеме.
Морское исполнение.**



Группа условий эксплуатации, пожарные нормы согласно VDE 0532 / части 6, температурные условия

Уровень загрязненности:

E0 Нормальная внешняя установка,
отсутствие конденсации, отсутствие загрязнений

E1 Слабое загрязнение, периодическая конденсация,
не приводящая к коротким замыканиям

✓ **E2** Сильное загрязнение, частая конденсация

Климатическое исполнение:

C1 Рабочая температура окружающей среды - 5° C
Температура хранения и транспортировки - 25° C

✓ **C2** Рабочая температура окружающей среды - 40° C
Температура хранения и транспортировки - 40° C

Требования по стандарту МЭК -25° C

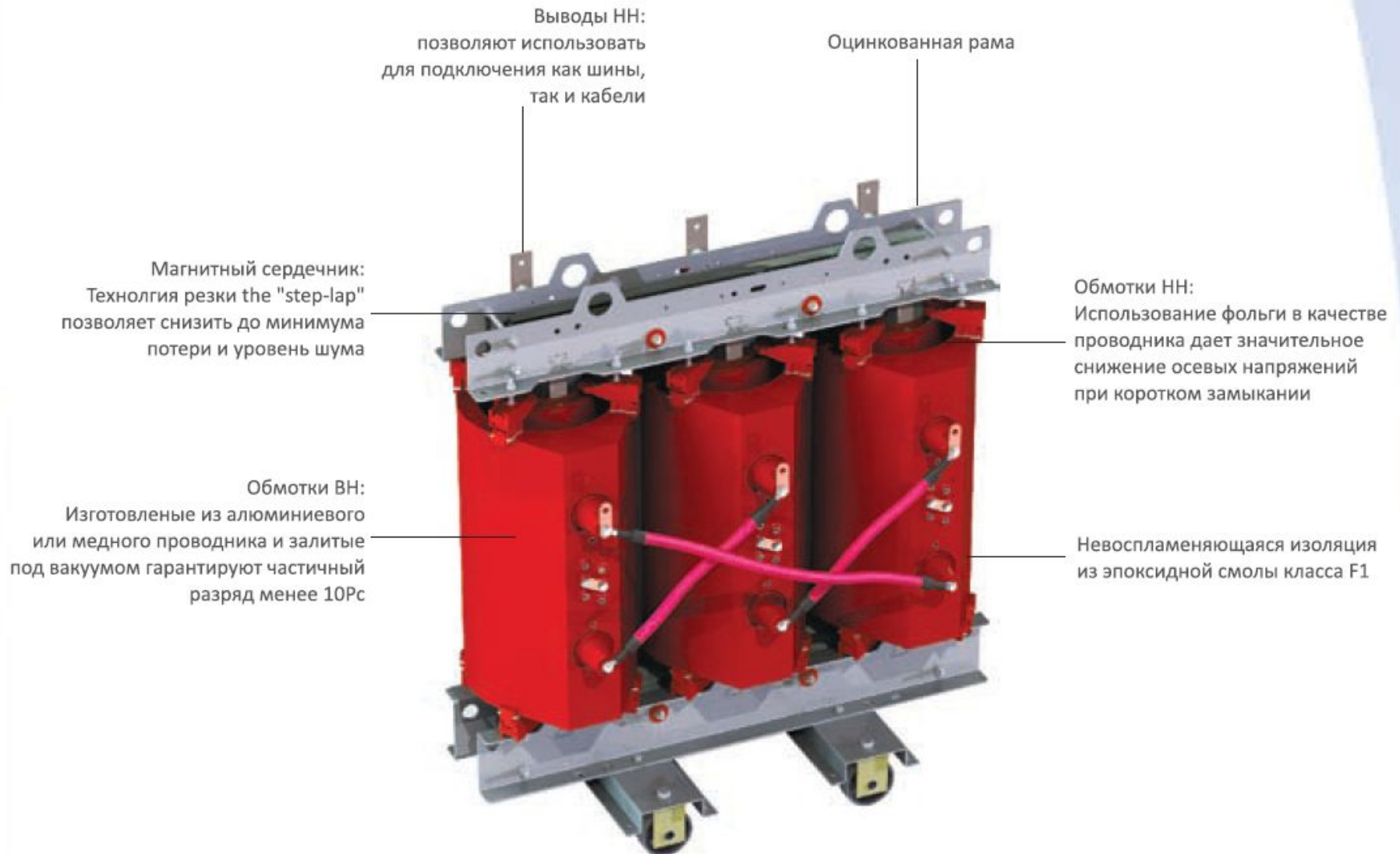
RESIBLOC®

* Проведены испытания нагрузкой двойным номинальным
током после охлаждения обмоток до температуры - 60° C.
Трансформаторы выдержали многократные испытания.

Сухие трансформаторы по литьевой технологии

(матричная заливка обмоток ВН в вакууме)

Распределительные трансформаторы 6(10)/0,4кВ с литой изоляцией обмоток ВН



Обмотки трансформатора по литьевой технологии

Обмотка низкого напряжения

Обмотка низкого напряжения изготавливается из единого алюминиевого листа, который предварительно пропитывается изоляционными материалами класса F. Затем катушки подвергаются термической обработке полимеризации для получения готового продукта. Специальная конструктивная геометрия позволяет, помимо высокой сопротивляемости к электродинамическим усилиям, также и минимизировать поток рассеяния для электромагнитной совместимости.



Обмотка высокого напряжения

Обмотка высокого напряжения изготовлена из алюминиевой ленты. Специальная технология сборки (вакуумная заливка активной части обмотки изоляционным материалом) и особая совместимость используемых материалов (алюминий и эпоксидная смола имеют очень близкие по значению коэффициенты расширения при нагревании) позволяют получить изделие, в котором практически отсутствуют внутренние механические напряжения. Во время процесса литья каждый параметр отслеживается электроникой для того, чтобы получить однородность диэлектрических характеристик смолы.



**Испытания трансформаторов с литой
изоляцией на соответствие стандарту
МЭК С2-Е2-Е1**

(трансформатор TRIHAL концерн Schneider El)

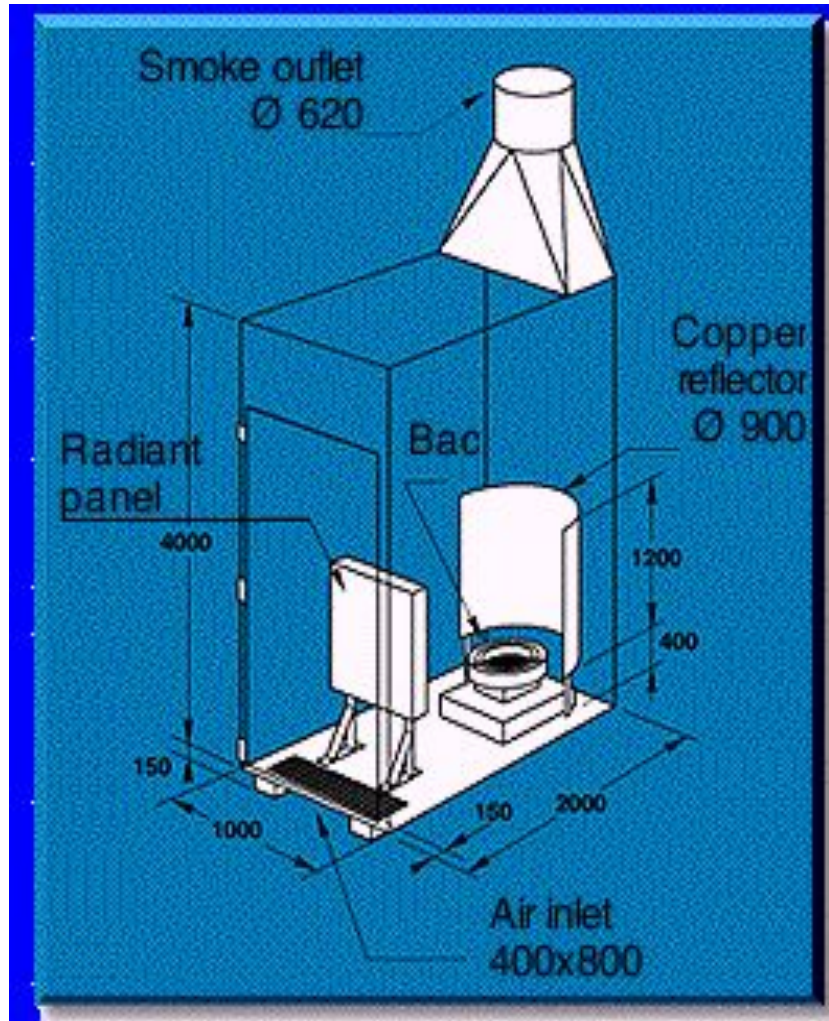
Трансформатор TRIHAL

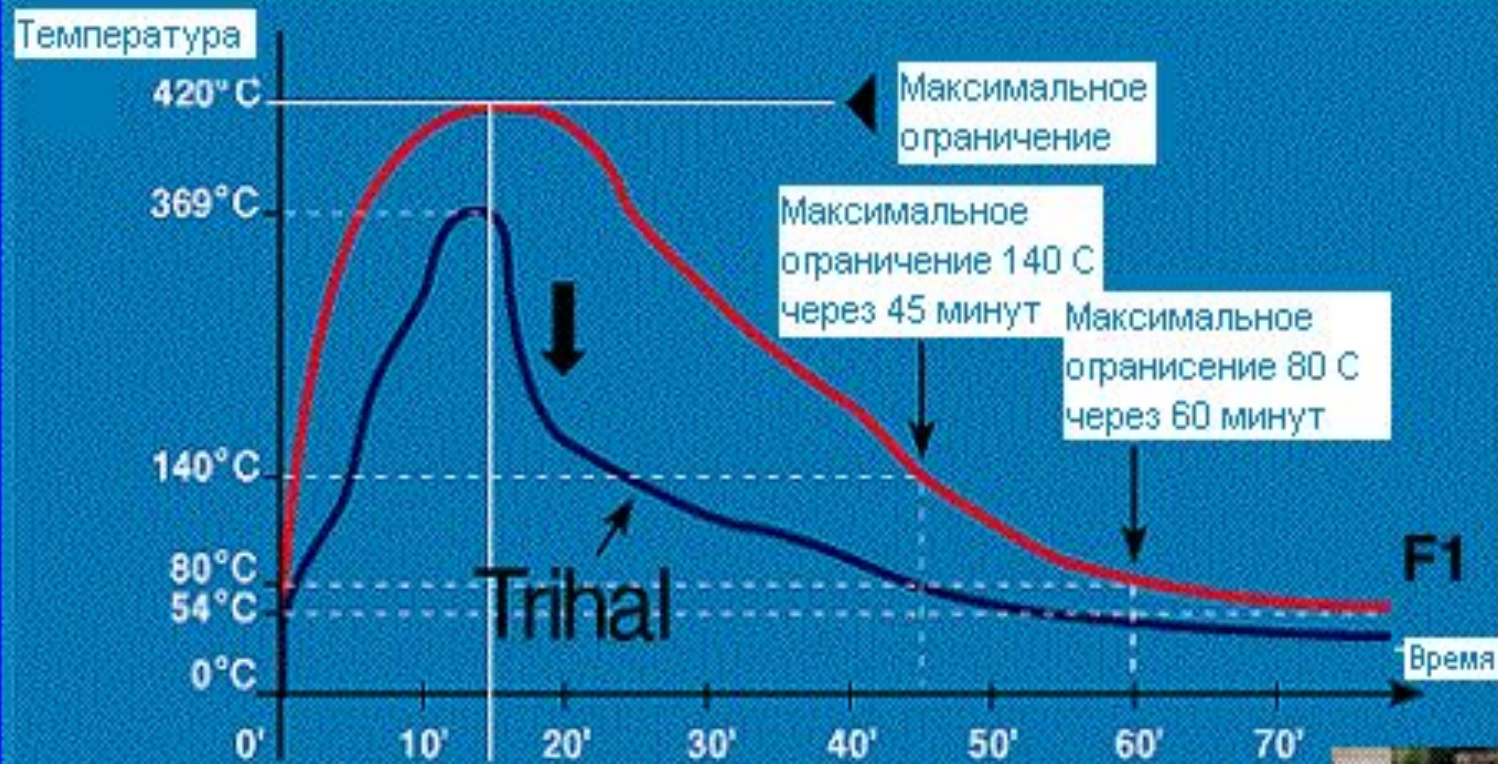
10/0,4кВ , (Yn/D-11), ПБВ 2,5%

Подключение кабелей 10кВ к выводам ВН без опорных изоляторов



Испытания на соответствие классу F1. Воздействие открытого пламени и теплового излучения





Включение радиа-
тора.
Поджигание спирта

От 14 до 18 минут -
прекращение
горения спирта

40 минут -
отключение
радиатора



Испытания на соответствие классу F1

Блок обмоток ВН и НН до и после испытаний



Уникальные противопожарные свойства трансформаторов TRIHAL



Стойкость к конденсации и загрязненной окружающей среде. Испытания по классу E2.



- Испытания по воздействию окружающей среды по классу E2 проводились в Лаборатории Кема (Нидерланды)
- 6 часов работы при 93% влажности
- далее 6 часов работы при 50°C и 90% влажности
- Погружение на 24 часа в соленую воду при 20 °C

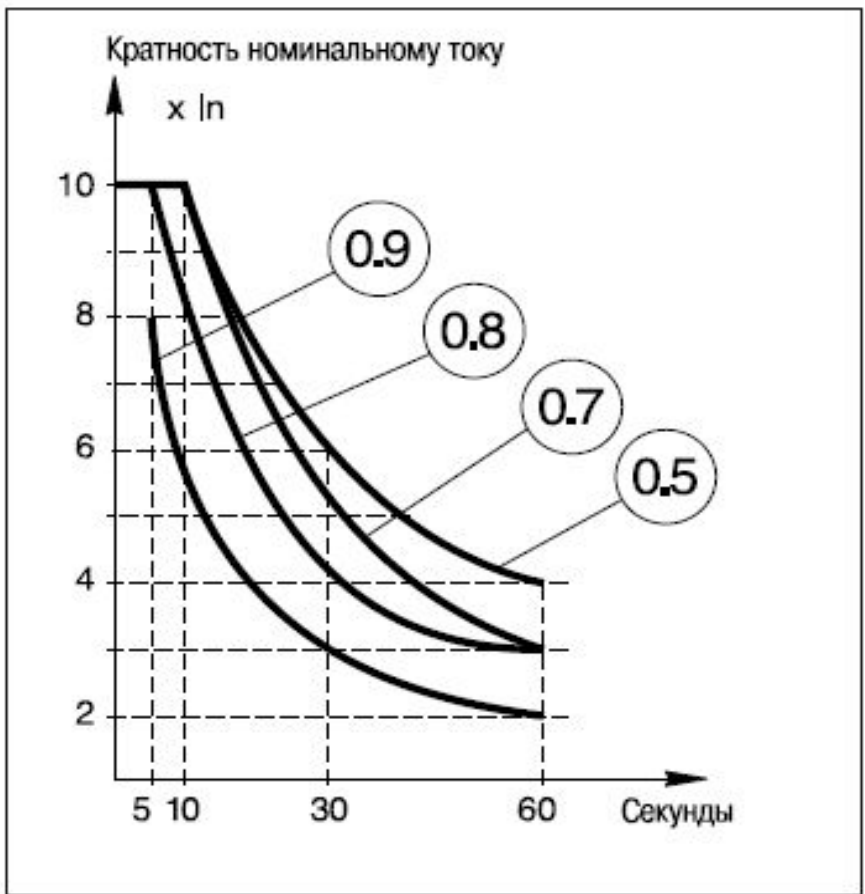
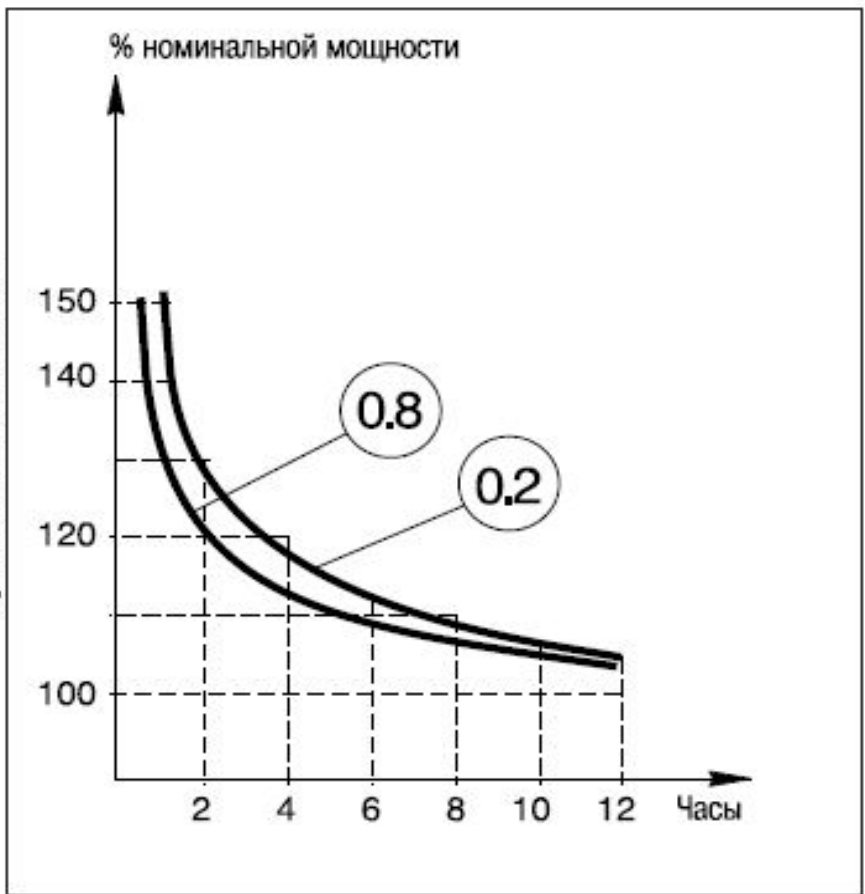
Стойкость к изменениям нагрузки и перегрузкам. Испытания по классу C2



- Trihal испытан на соответствие классу C2 в соответствии с HD464S1,
- 12 часов при 20°C,
8 часов при -25°C
- 2 часа в кипящей воде >96°C
2 часа в ледяной воде <5°C
- Диэлектрические испытания +
измерение частичных разрядов ≤ 10 пКл
- Испытания проводились в Лаборатории Kema (Нидерланды)

Допустимые аварийные перегрузки трансформаторов TRINAL с литой изоляцией в нормальных условиях (при среднегодовой температуре охлаждающей среды 20°C).

Среднегодовая температура окр. среды (X)



**Трансформаторы
с воздушно-барьерной изоляцией
(открытыми обмотками)
безматричная пропитка
изоляции обмотки ВН в вакууме**

Изоляция обмоток трансформаторов с воздушно-барьерной изоляцией ООО “Электрофизика”.

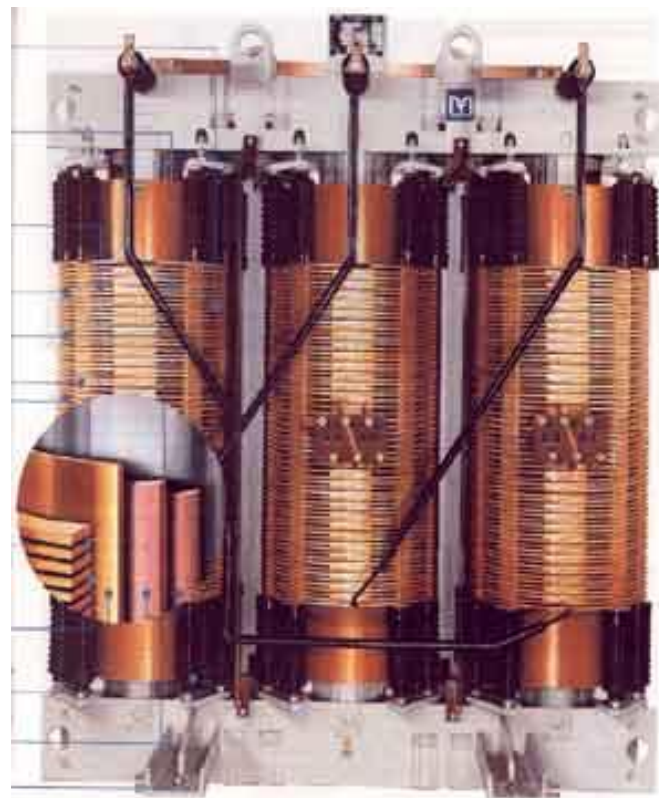
Номинальная мощность до 10МВА, класс напряжения до 35кВ

Изоляция обмоток ВН и НН -
стеклошелк **Nomex (Meta Aramid)**.

Класс температуры соответствует
классу F 155 град. С (может быть
класс H 180 град. С).

Обмотка низкого напряжения
(до1кВ) -используется медный
(алюминиевый) провод или фольга с
межслоевой изоляцией **NOMEX**.

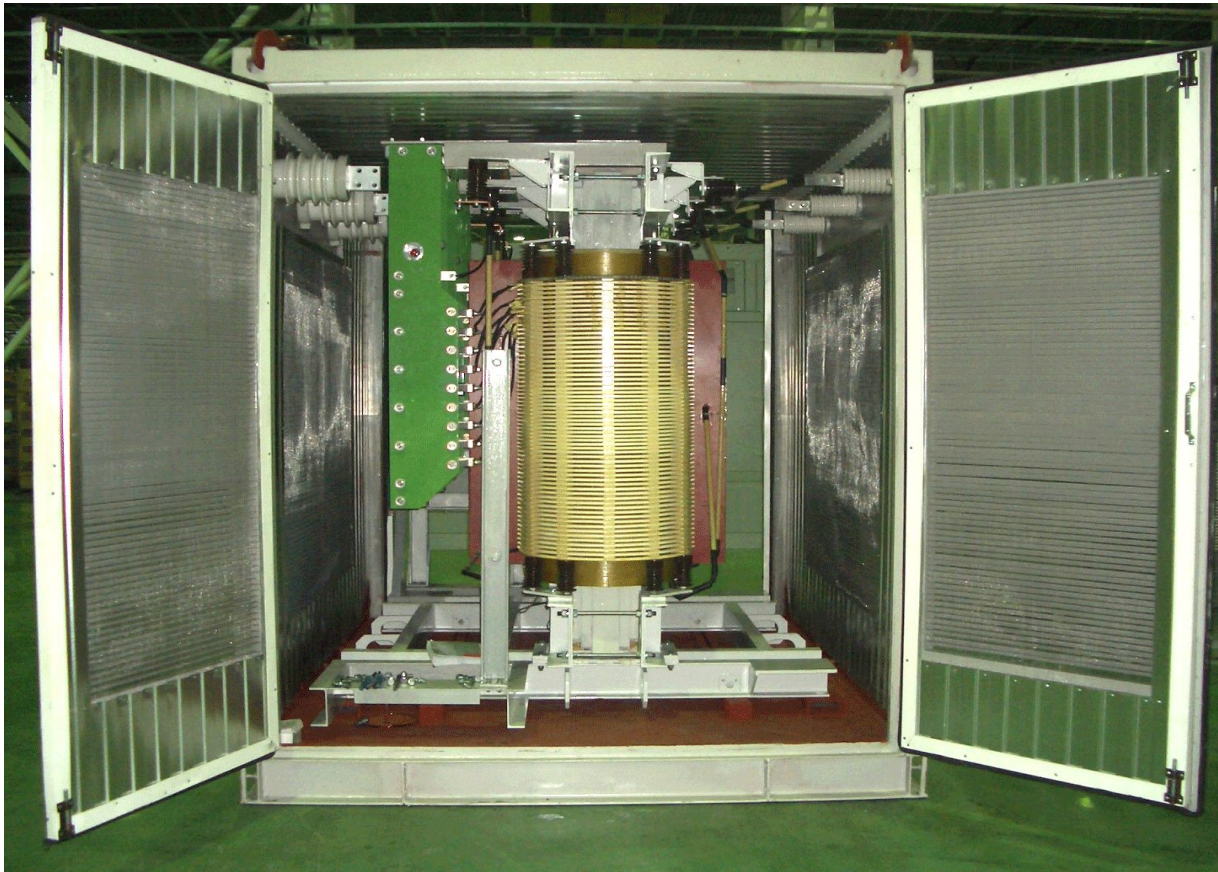
Обмотка высокого напряжения
(медный или алюминиевый
эмальпровод с витковой изоляцией
NOMEX.

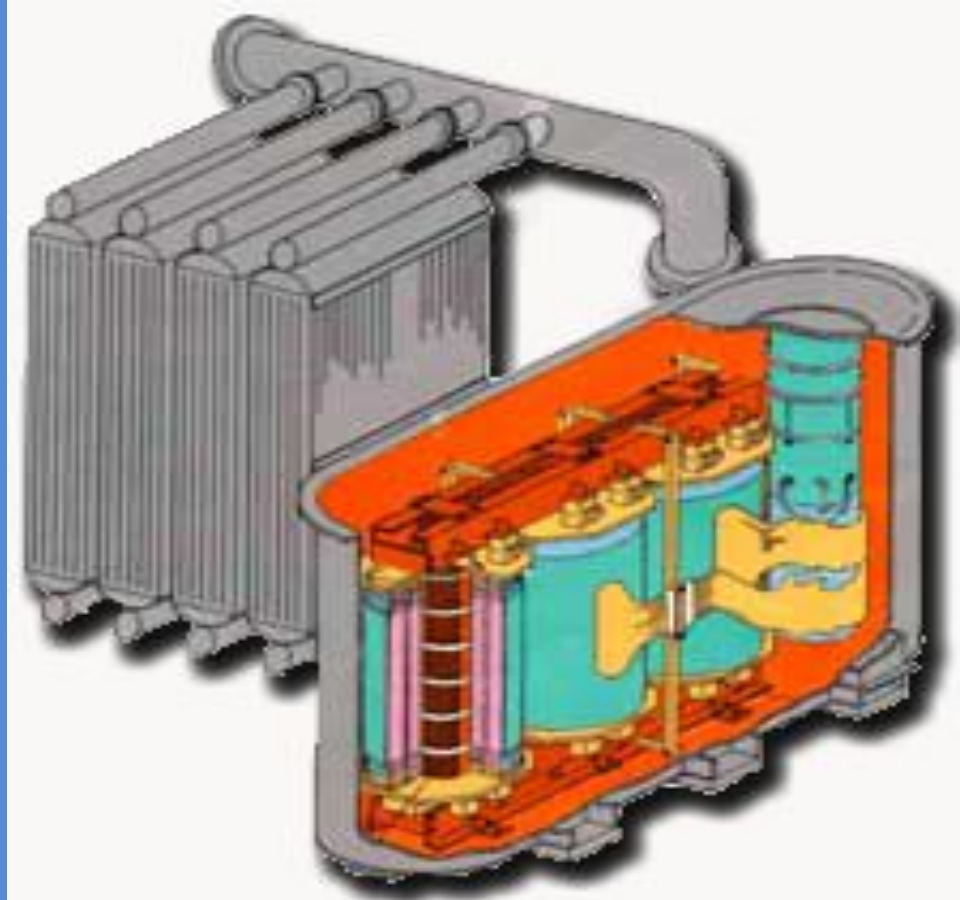


Длительная аварийная перегрузка трансформаторов с воздушно-барьерной изоляцией.



Трансформатор 35кВ с воздушно - барьерной изоляцией, в защитном кожухе, с РПН.





Герметичные трансформаторы с элегазовой (SF6) изоляцией

Особенности эксплуатации и монтажа трансформаторов с элегазовой (SF₆) изоляцией

- **Взрывопожаробезопасность.** Трансформатор не содержит горючих изоляционных материалов, что исключает возможность возгорания.
- **Простота в обслуживании и большой ресурс работы.** Бак трансформатора заполнен инертным газом SF₆ и герметично закрыт, обслуживание сводится к минимуму. Элегаз не взаимодействует с элементами конструкции трансформатора, что продлевает срок их службы.
- **Высокие изоляционные свойства SF₆.** Повышение давления элегаза в герметичном объеме кожуха трансформатора приближает его по характеристикам к масляным трансформаторам.
- **Простота и экологичность монтажа.** При установке данного типа трансформаторов исключается возможность экологического загрязнения территории .

Герметичный (с SF6 изоляцией) распределительный трансформатор





**Трансформатор 20 МВА, 154 кВ однофазный
трехобмоточный с РПН с изоляцией “номекс-элегаз”
охлаждается посредством принудительной циркуляции
элегаза (SF₆) через охладители выносного типа
элегаз/вода.**

Группа однофазных герметичных автотрансформаторов концерна TOSHIBA с элегазовой (SF₆) изоляцией

