

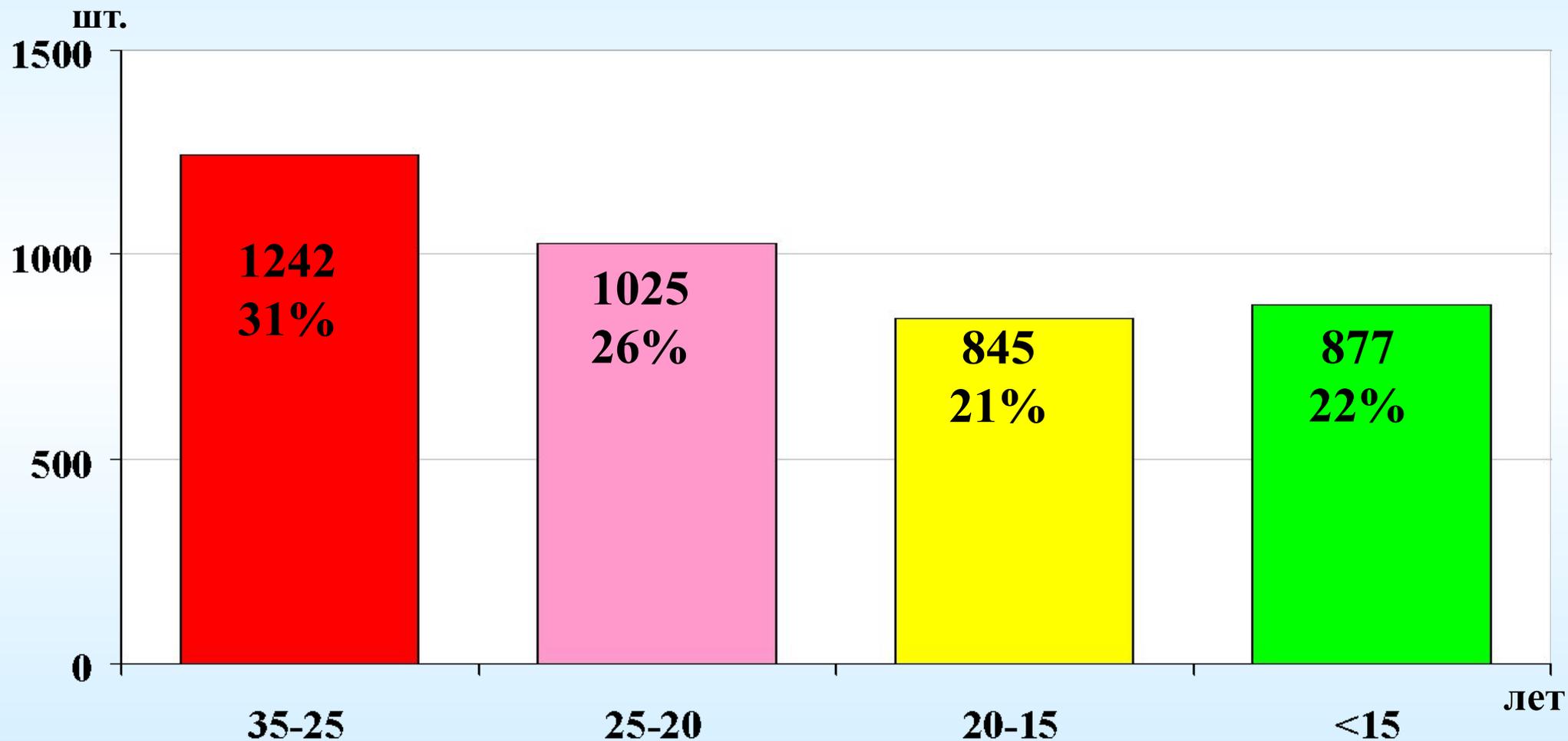
**Повышение эксплуатационной  
надежности трансформаторов  
тока производства ОАО «ЗЗВА»  
и разработка комплекса  
мероприятий по предупреждению  
отказов трансформаторов,  
проработавших 20 и более лет.**

**ОАО «ЗЗВА»**

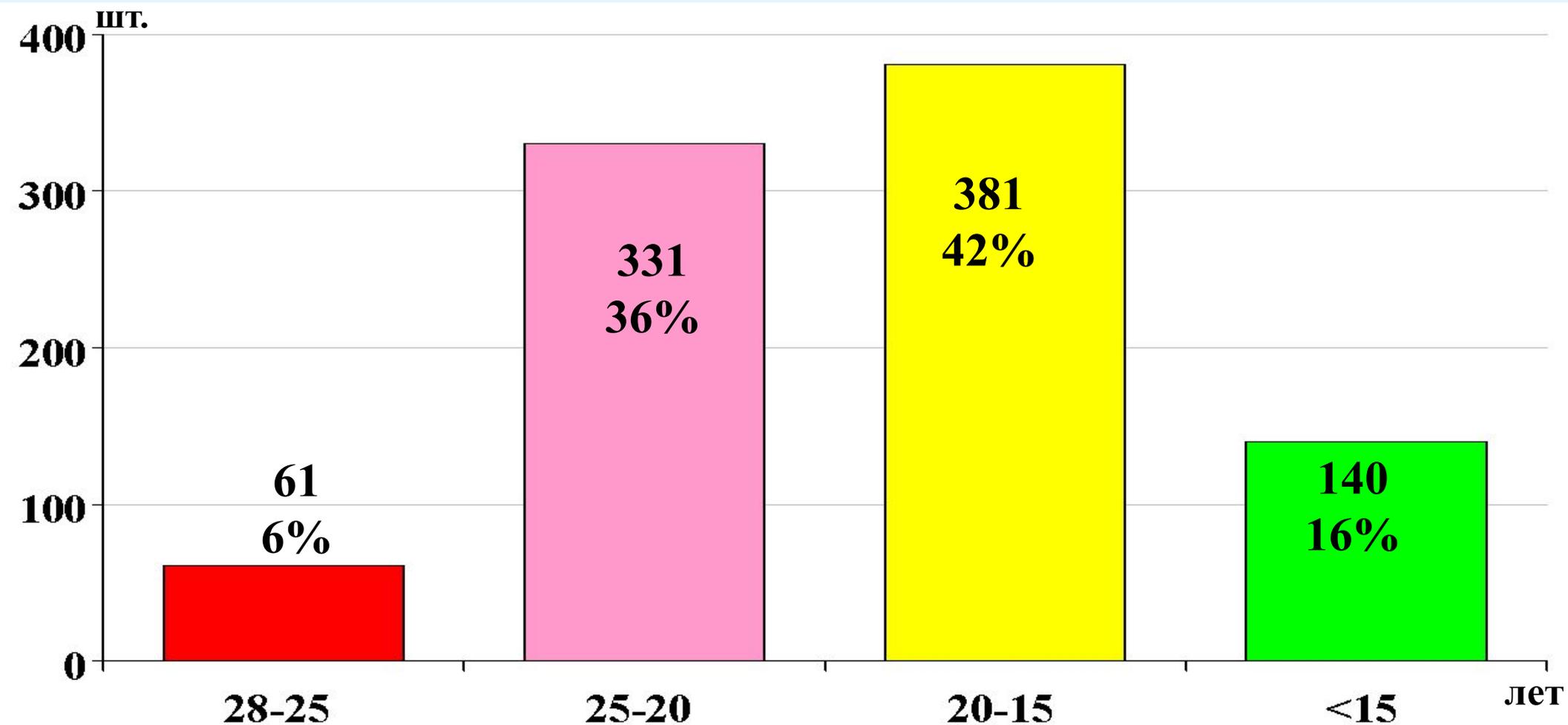
# Содержание доклада:

1. Выработка ресурса трансформаторов тока серии ТФРМ – с рымовидной конструкцией обмотки и изоляцией кабельно-конденсаторного типа.
2. Сравнительный анализ показателей надежности трансформаторов тока серии ТФРМ – 330, 500, 750 kV и зарубежных аналогов.
3. Анализ конструкции.
4. Анализ повреждений.
5. Проводимые заводом-изготовителем мероприятия по повышению эксплуатационной надежности трансформаторов тока.
6. Выводы и предложения

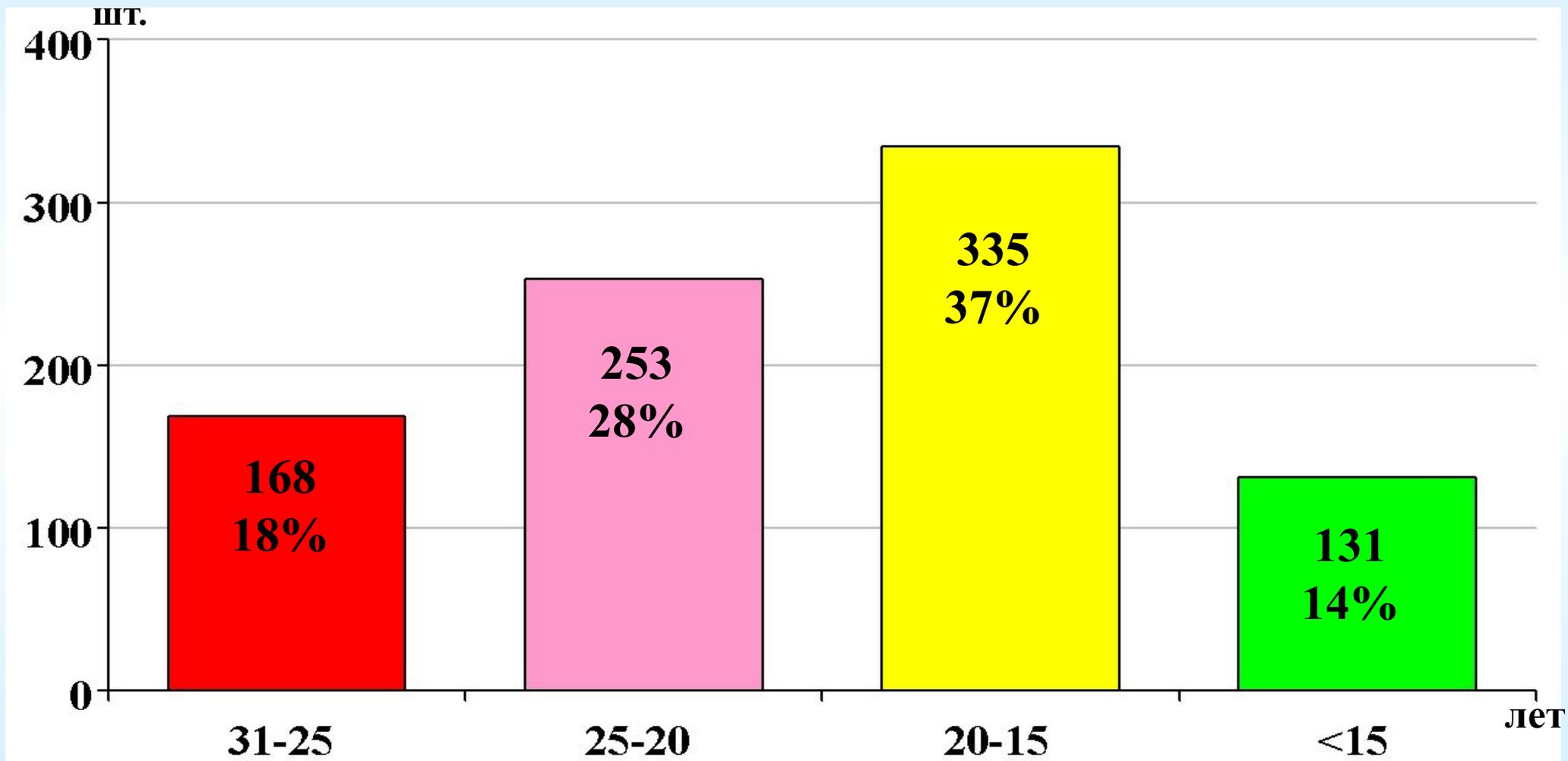
## Выработка ресурса ТТ ТФРМ-330 (выпуск 3999 шт.)



## Выработка ресурса ТТ ТФРМ-500 (выпуск 914 шт.)



## Выработка ресурса ТТ ТФРМ-750 (выпуск 887 шт.)

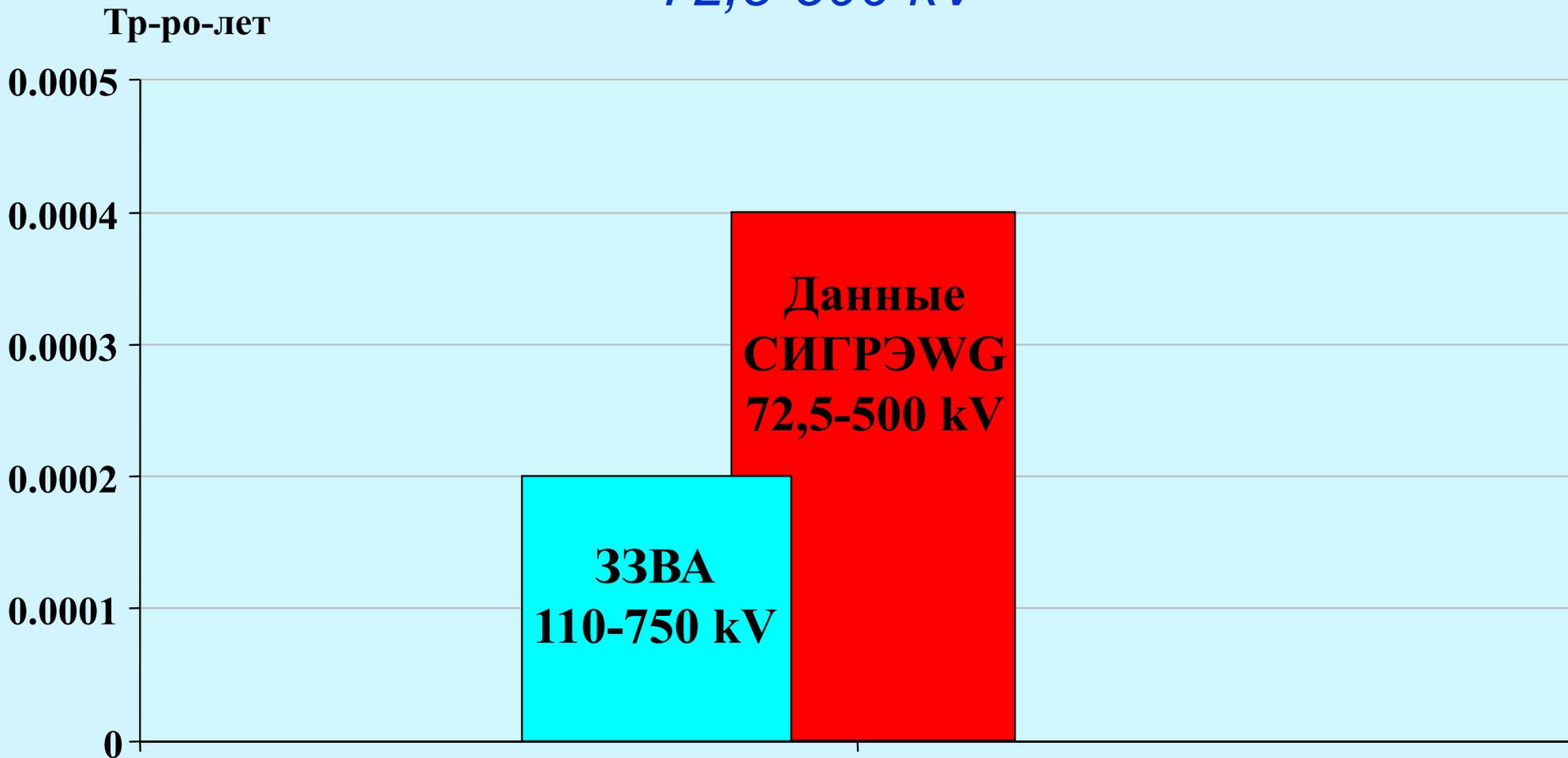


# Показатели надежности

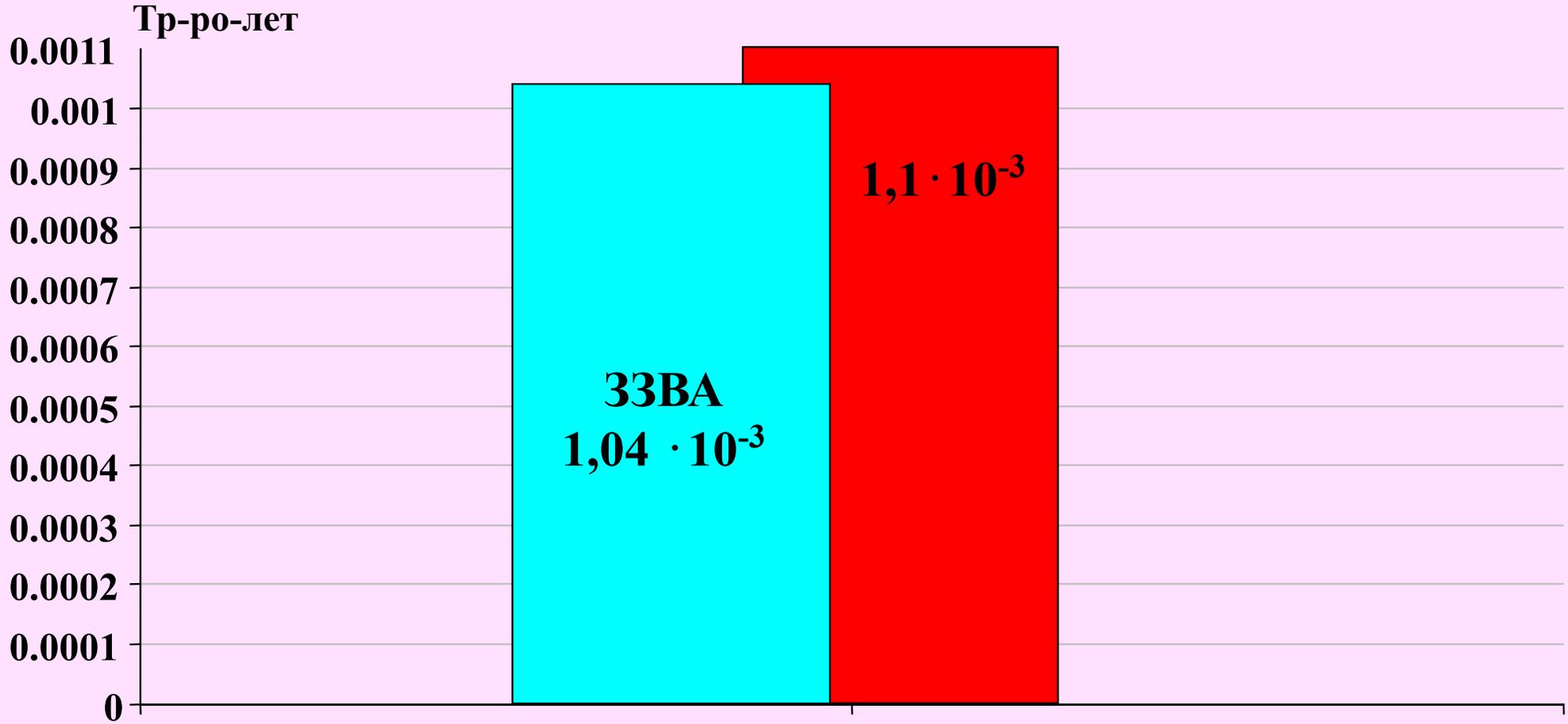
Для ТТ с рымовидной конструкцией обмотки и кабельно-конденсаторной изоляцией на классы напряжения

**330-750 kV** количество отказов различных категорий в целом ниже от мирового уровня.

*Общая интенсивность отказов ИТ в мире  
относительно года для классов напряжения  
72,5-500 kV*



*Для ТТ с рывовидной конструкцией обмотки и  
кабельно-конденсаторной изоляцией на классы  
напряжения 330-750 kV типа ТФРМ*



# Анализ конструкции трансформаторов тока серии ТФРМ

- *Рымовидная конструкция обмотки с изоляцией кабельно-конденсаторного типа имеет особенность, заключающуюся в том, что главная изоляция расположена на вторичной обмотке и состоит из эквипотенциальных слоев, называемыми потенциальными обкладками. Разделение на конденсаторные обкладки дает возможность поднять рабочую напряженность до 4 кВ/мм.*
- *Короткие размеры первичной обмотки позволяет создать трансформаторы с большими (до 4000 А) номинальными первичными токами, а также иметь большую устойчивость к динамической составляющей токов к.з.*

- **Особенностью конструкции является газофобность главной изоляции, толщина которой достигает 100 мм. По этой причине необходимо обеспечить меры по сохранности достигнутой на заводе-изготовителе глубокой степени пропитки главной изоляции на протяжении всего срока эксплуатации.**
- **Недопустимо попадание воздуха в трансформатор с доливаемым и заменяемым маслом, т.к. это приводит к ионизационным процессам, неизбежно переходящим к повреждениям трансформатора.**
- **При выполнении требований тех. документации, как показывает практика, трансформаторы этой серии работают более 30 лет.**

# **Анализ повреждений**

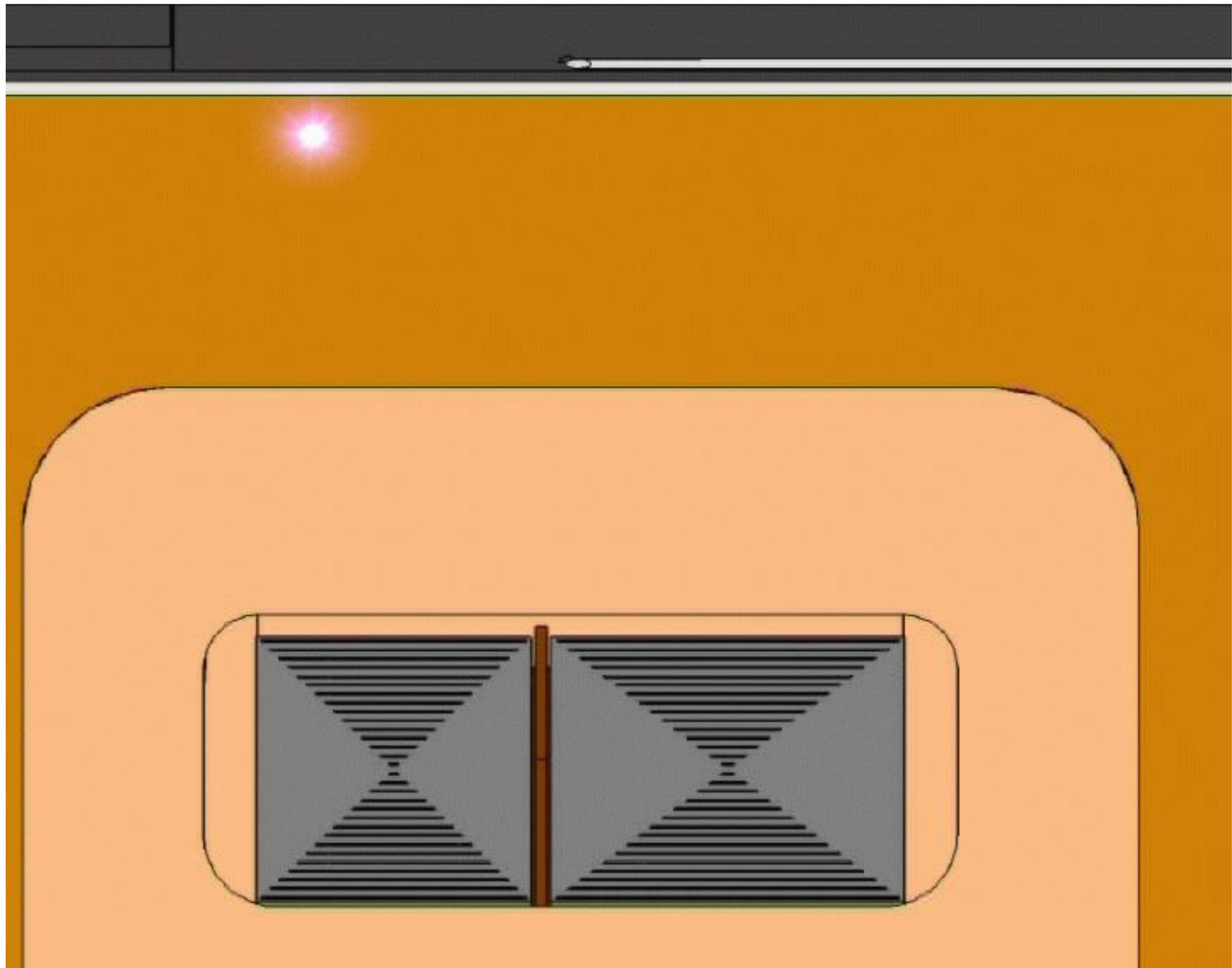
## **Виды и причины крупных повреждений**

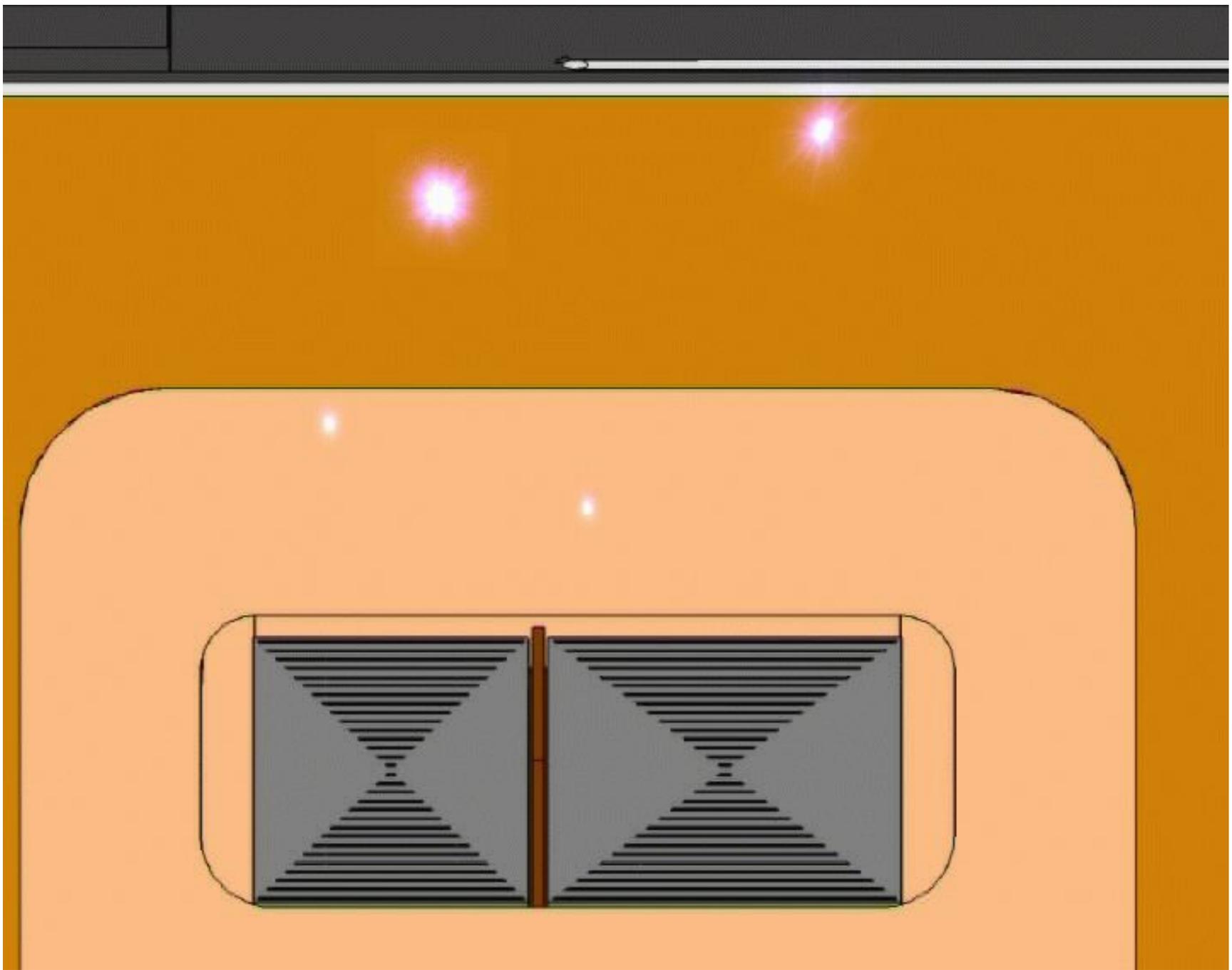
- 1. «Холодный» - ионизационный пробой**  
**- нарушение пропитки изоляции, проникновение в нее газовых включений**
- 2. «Горячий» пробой**  
**- развитие теплового пробоя обусловлено старением изоляционных материалов и масел, характерен в жаркое время**

Анализ причин повреждений показывает, что более чем в 64% случаях повреждения возникают в результате ионизационных пробоев, которые развиваются по этапам:

- в результате проникновения газовых включений в изоляцию обмоток возникают частичные разряды с зарядом  $100 \div 300$  р.с.;
- увеличение энергии разрядов с течением времени до критических значений с зарядом в  $1000 \div 3000$  р.с.;
- рост  $\text{tg}\delta$  в главной изоляции при рабочем напряжении;
- выделение преимущественно горючих газов  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{CO}_2$ ;
- насыщение выделяемыми газами масла и изоляции обмоток и т.д.

**Процесс и последствия пробоя можно проиллюстрировать следующими слайдами:**





**Прогар в верхней части тора ТФРМ-750  
зав. № 120/116, 1975г.**







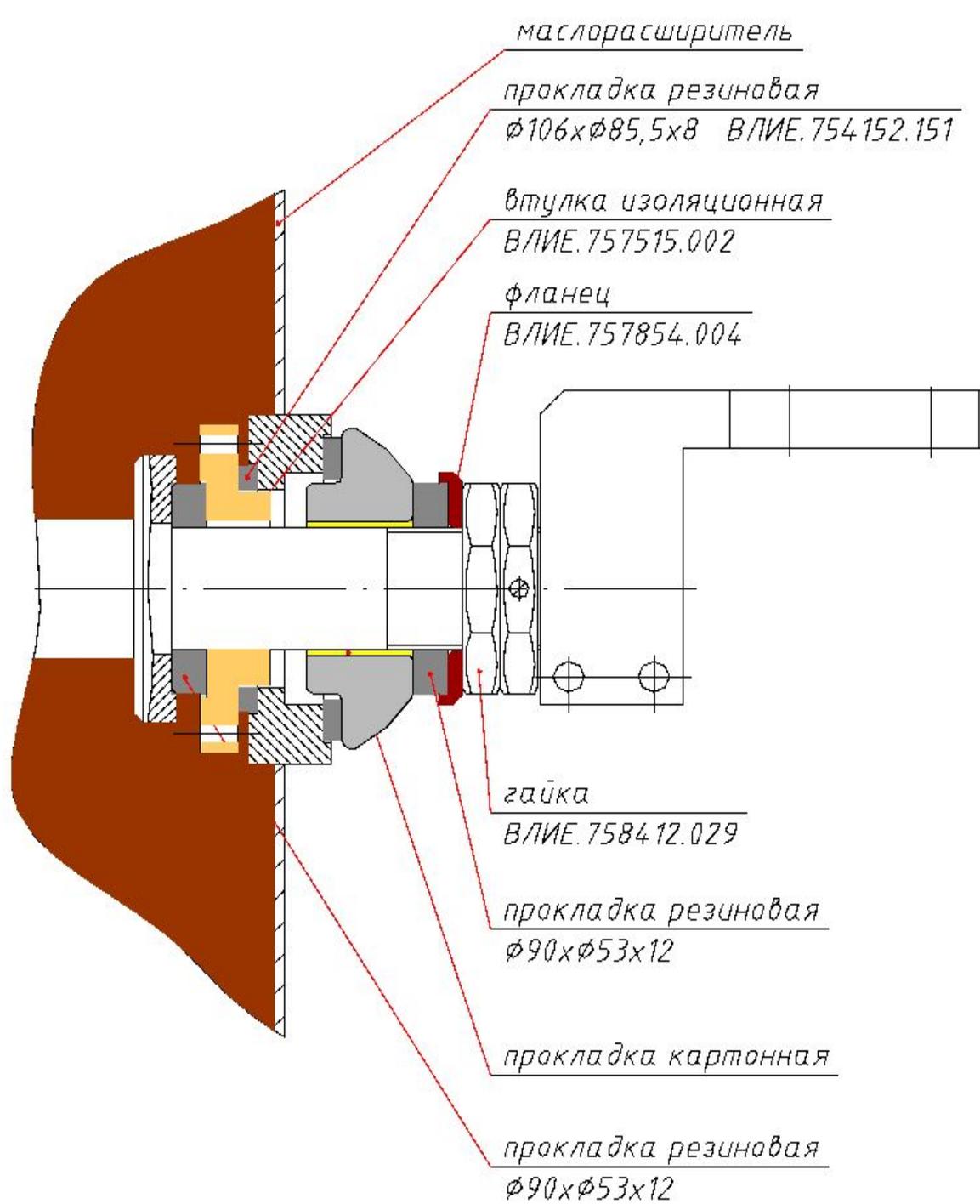
# **Пути попадания газовых включений в полость трансформатора и в его изоляцию:**

- Операция доливки масла**
- Операция замены масла**
- Газовыделение в результате разрядных процессов в твердой изоляции, вызванных высокочастотной составляющей коммутационного тока в сетях подстанций.**



**Результат  
воздействия  
разрядных  
процессов в твердой  
изоляции, вызванных  
высокочастотной  
составляющей  
коммутационного  
тока в сетях  
подстанций.**





**Особенностью серии ТФРМ является повышенная «чувствительность» к попаданию воздуха в полость трансформатора.**

**Пример:**

**«Типовая» доливка масла, без учета этих особенностей, приводит к возникновению ЧР от 10 до 300-600 р.с. и содержание газа в масле от 0,8 до 9,9%.**

Характерной особенностью трансформаторов, находящихся в эксплуатации 20-25 лет, является снижение характеристик масла по таким параметрам, как  $\text{tg}\delta$  и ХАРГ, как пример:

- Значение  $\text{tg}\delta$  90 °С до 7-8%;
- $\text{C}_2\text{H}_4$  = 50-80 ppm при норме более 10-100;
- $\text{CO}_2$  = 1300-1500 ppm при норме более 900  
и др. варианты

К вопросу замены масла необходимо подходить очень осторожно и принимать решения в каждом конкретном случае.

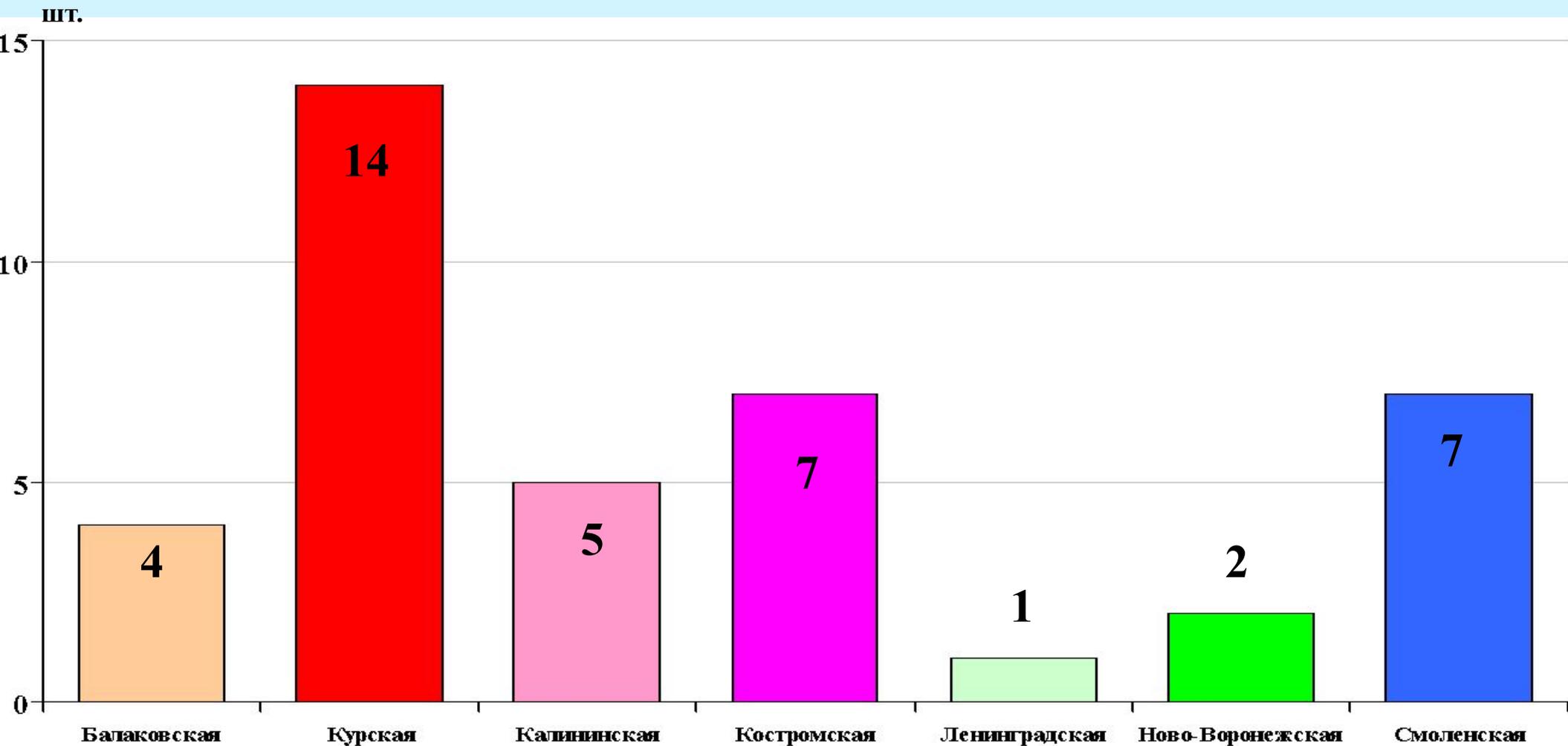
## **Начальные симптомы теплового пробоа**

- Рост  $\tan\delta$  на 10-20% при повышении температуры
- Снижение  $\tan\delta$  при повышении напряжения

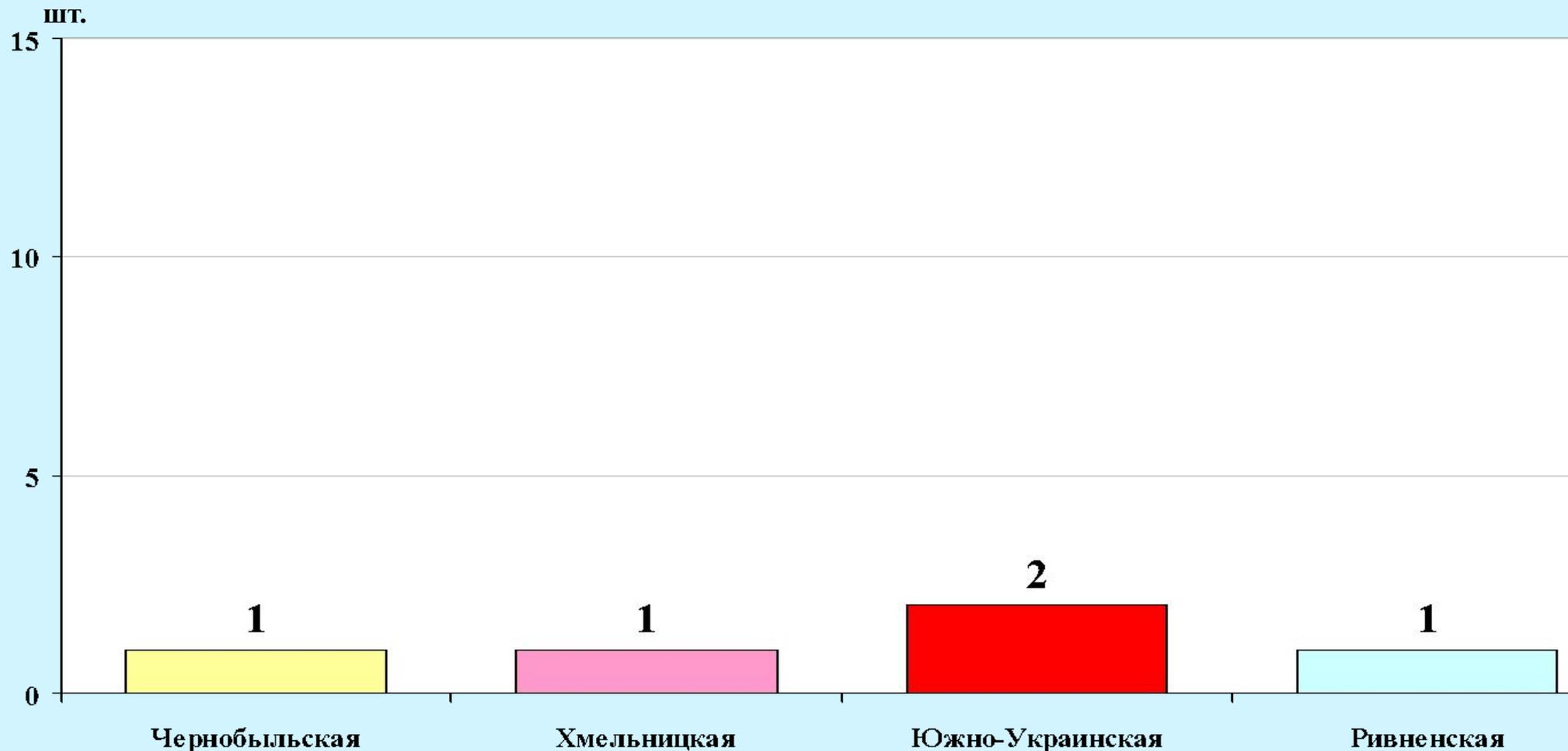
## **Симптомы предпробойного состояния:**

- Резкий рост  $\tan\delta$
- Саморазогрев
- Возникновение ЧР 350-1000 р.с.
- Выделение горючих газов

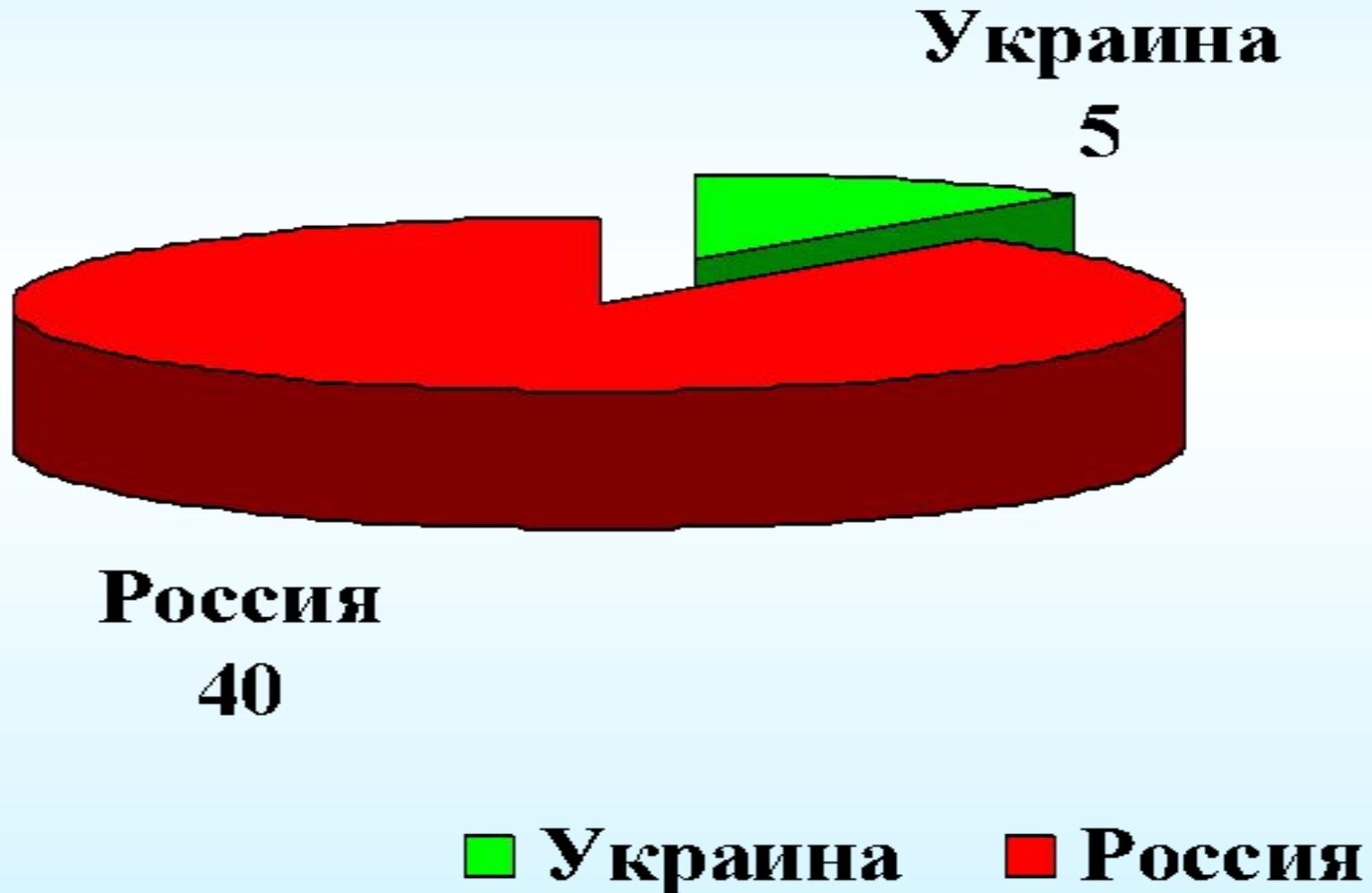
# Отказы в распредустройствах атомных станций России 1986-2005 г.г



# Отказы в распредустройствах атомных станций Украины 1986-2005 г.г



# Отказ трансформаторов 1986-2005 г.г.

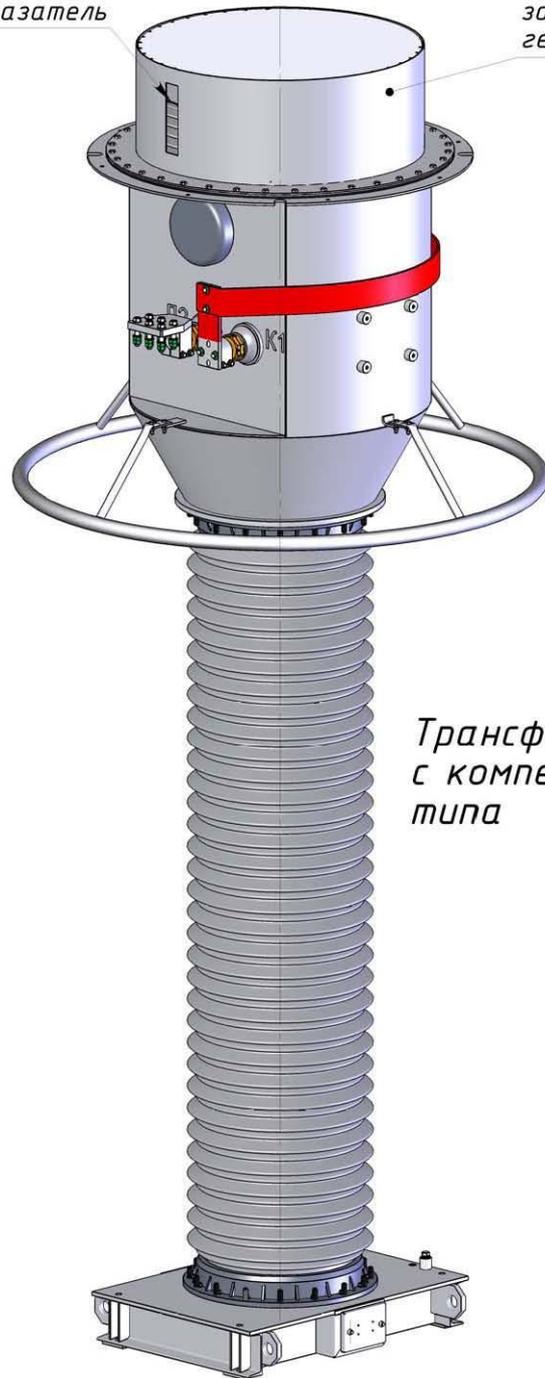


# Проводимые заводом-изготовителем мероприятия по повышению эксплуатационной надежности трансформаторов тока.

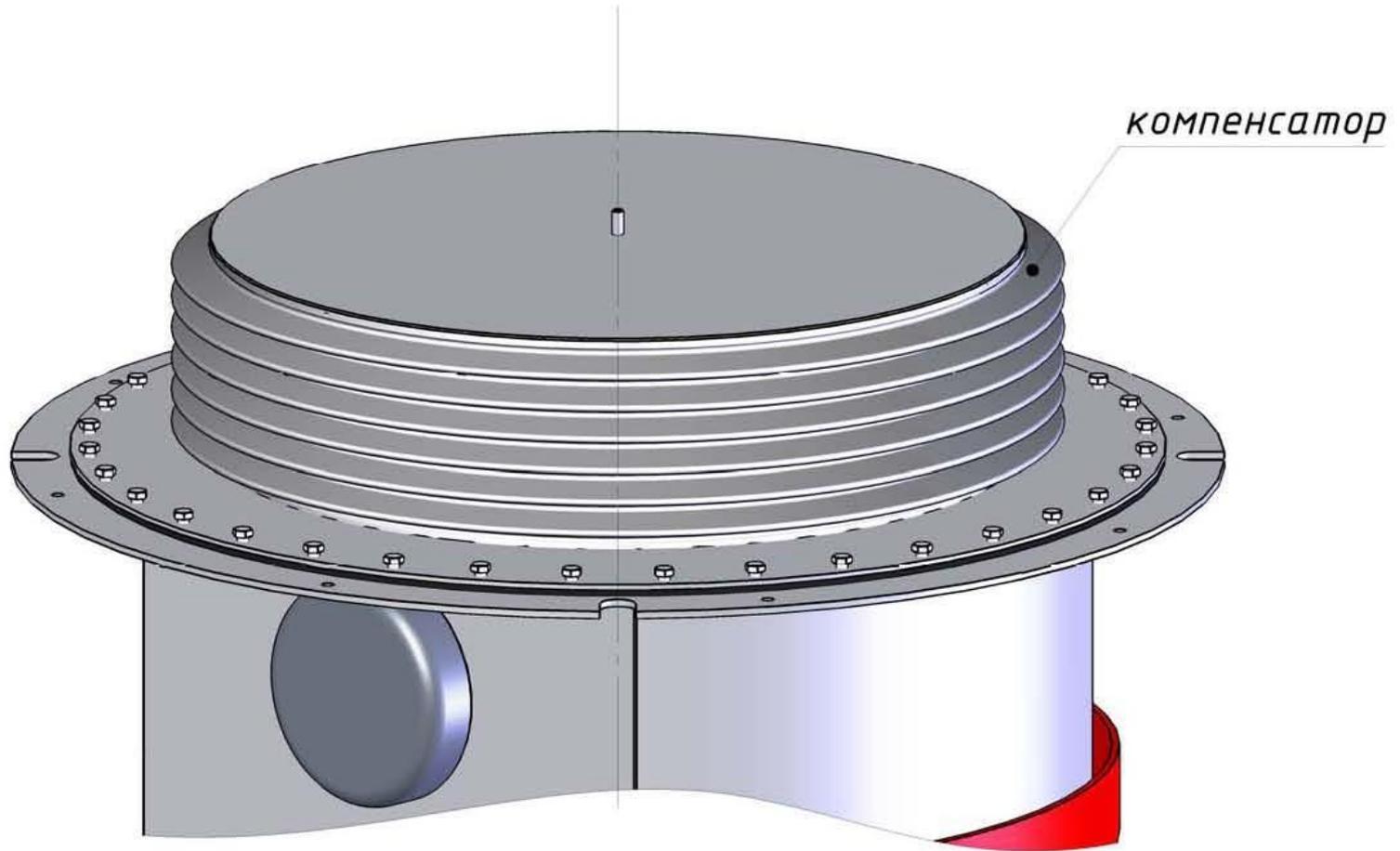
- Изменение технологии ТВО в части перехода на сушку в парах нефтепродуктов, как более эффективную
- Изменение технологии заливки и пропитки трансформаторов (заполнение трансформатора маслом снизу ) с последующим сливом масла и заливкой новым маслом.
- Определение наличия разрядных процессов в трансформаторах
- Проведение ХАРГ заливаемого масла перед ТВО и после ПСИ.
- Замена масла ГК на совместимое с ним масло Nitro 10х, как более стабильное и менее склонное к газовыделению
- Изменена конструкция узла герметизации в части введения компенсатора, обеспечивающего его взрывобезопасность

*маслоуказатель*

*защитный корпус  
герметизирующего устройства*



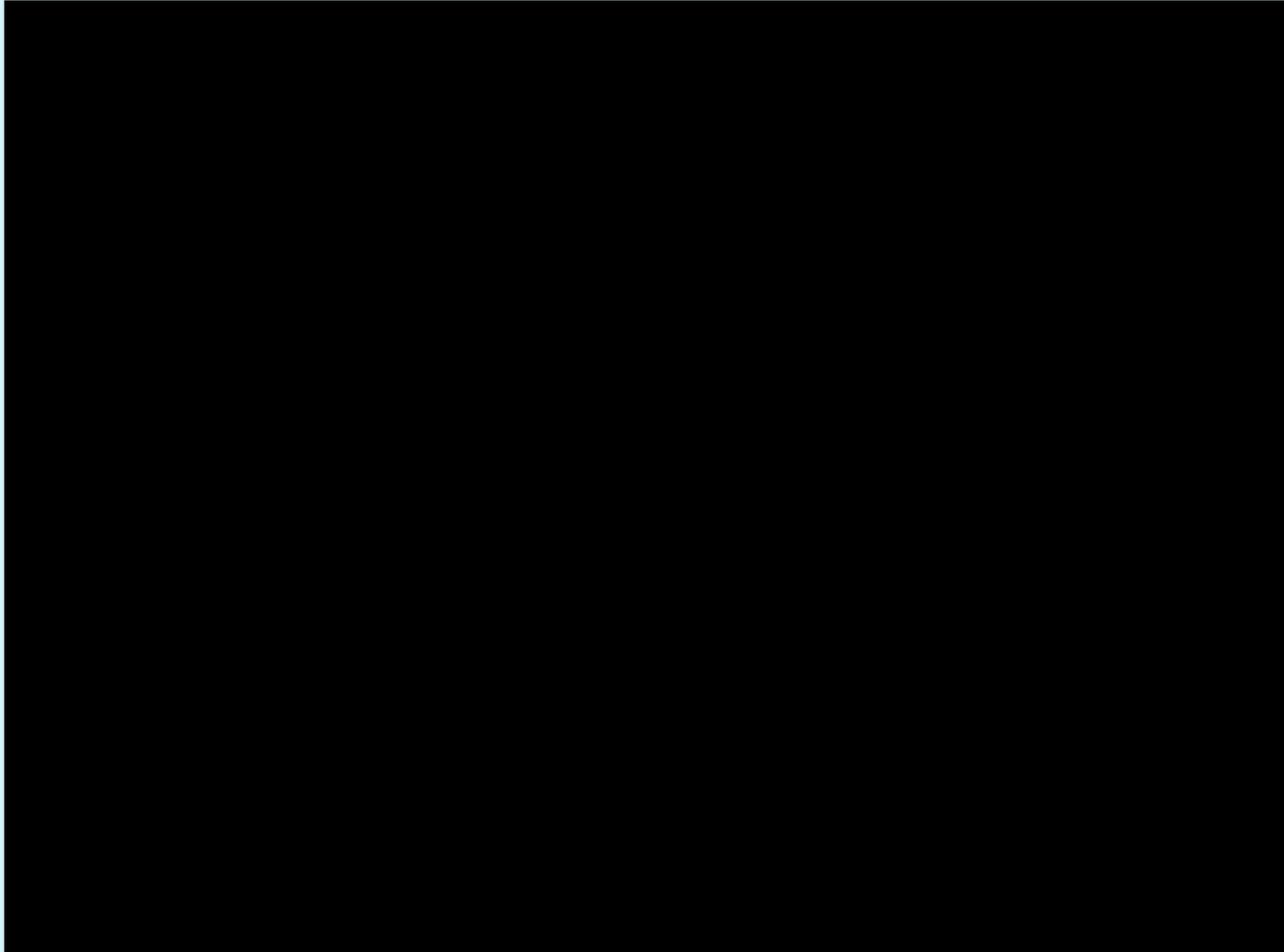
*Трансформатор серии ТФРМ  
с компенсатором сильфонного  
типа*



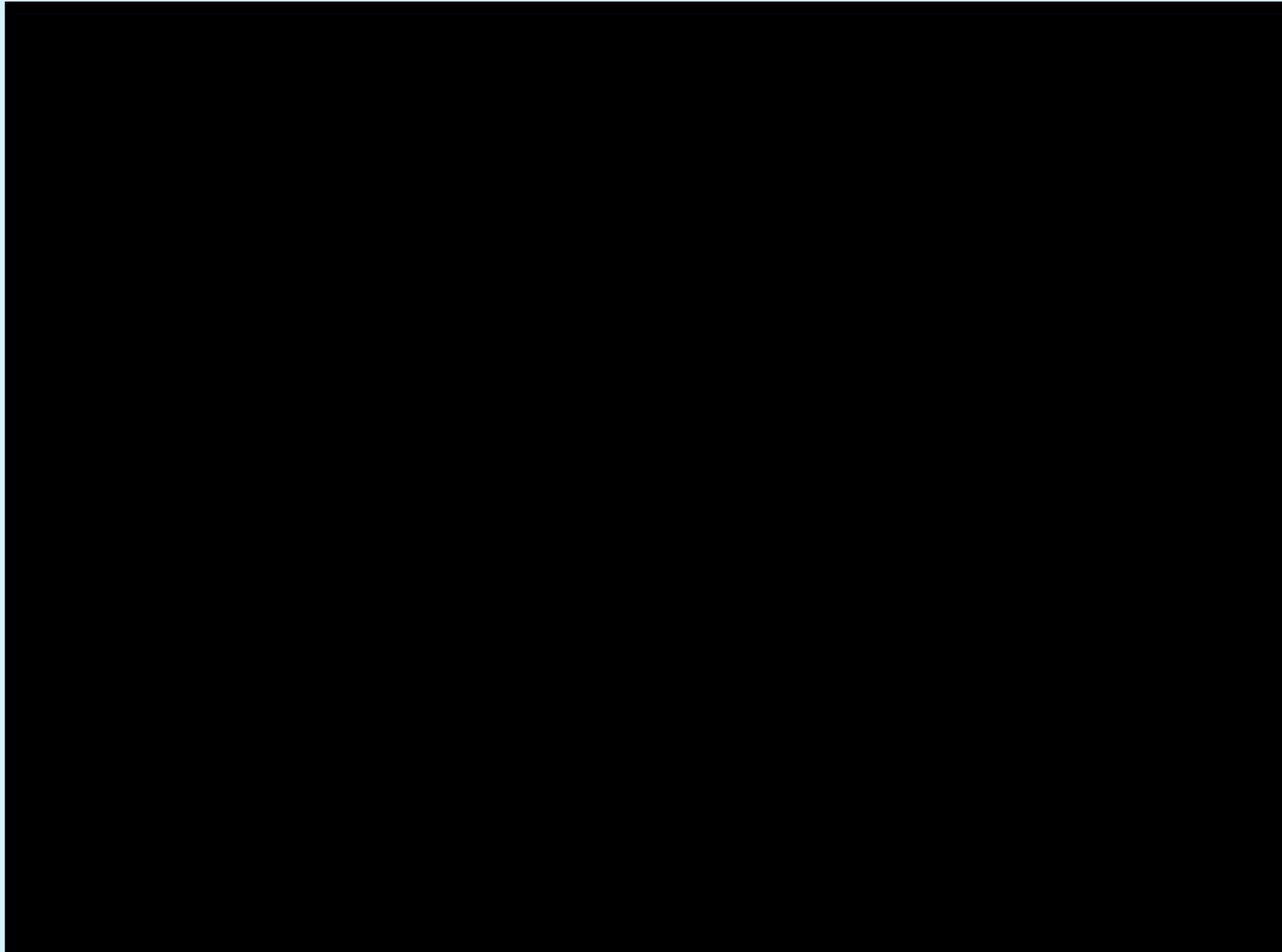
# Взрыв ТФРМ 330 трансформатора тока Южмаш



# Взрыв ТФРМ 330 трансформатора тока г. Шатура



# Взрыв ТФРМ 330 трансформатора тока г. Шатура



# Взрыв трансформатора тока ТФРМ 330 Г. Шатура (с компенсатором)

















# Диагностика и сервис

1. В июне 2006г. завершено изготовление передвижной испытательной установки (ПИУ-300) с техническими характеристиками:

- *Испытание главной изоляции измерительных трансформаторов напряжения промышленной частоты до 300 kV*
- *Измерение уровня ЧР*
- *Измерение токовых и угловых погрешностей ИТ*
- *Определение потерь и тока холостого хода трансформаторов напряжения*
- *Измерение сопротивления изоляции ТТ и ТН*
- *Измерение сопротивления постоянному току вторичных обмоток ТТ, обмоток НН и ВН трансформаторов напряжения*

# Передвижная испытательная станция



# Передвижная испытательная станция



**2.Идет изучение возможности согласования процедуры таможенного оформления выезда ПИУ-300 за пределы Украины.**

**3.Начаты консультации с рядом организаций Украины и РФ о начале работ по подбору эффективной системы диагностики, опробованию ее на действующих подстанциях Днепровской энергосистемы с целью рекомендации в качестве дополнительной опции.**

# Выводы

- Исследования СИГРЭ показывают, что на долю трансформаторов тока с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа приходится более 50% от общего числа отказов всех измерительных трансформаторов тока. В трансформаторах тока серии ТФРМ в период с 1990 по 2005 г.г., по нашим данным, зафиксировано 98 отказов. Удельное их число не превышает 0,06 %, однако большая часть отказов сопровождается авариями различных категорий сложности при значительных материальных потерях.

Существующие методы контроля и диагностики, основанные на периодических измерениях на отключенных от сети трансформаторов и, тем более, при  $U=10$  kV не дают объективной информации о состоянии оборудования.

- Необходимо внедрение систем непрерывного наблюдения и контроля за техническим состоянием работающего оборудования под рабочим напряжением в режиме «on line», которые могут эффективно предупредить о зарождающихся повреждениях.
- При всех недостатках, конструкция трансформаторов тока серии ТФРМ вполне работоспособна и может, как показывает практика, работать 30-35 лет, разумеется при соблюдении требований тех. документации с учетом знаний особенностей конструкции.

# Предложения

- Создать рабочую группу или координационный центр, состоящую из специалистов концерна «Росэнергоатома» и «ЗЗВА» для выработки мероприятий и организации их выполнения, направленных на устранение возникающих проблем в процессе эксплуатации трансформаторов тока производства ОАО «ЗЗВА»
- Организовать планомерную замену на подстанциях концерна узлов герметизации, в 1-ю очередь конструкции 1988-1992г.г., на модернизированную конструкцию, со стрелочным маслоуказателем, с обязательным участием шеф-персонала завода.
- Организовать обучение специалистов-эксплуатационщиков на площадке «ЗЗВА» или непосредственно на подстанциях по программе, составленной специалистами концерна «Росэнергоатома» и согласованной «ЗЗВА»
- Организовать постановку на учащенный контроль (1-2 раза в год) трансформаторов, отработавших свой ресурс по программе, предложенной заводом-изготовителем (измерение tg при Унаиб. раб., измерение ЧР, ХАРГ)

**Благодарю за внимание**