

# Катастрофические отказы в ЭКБ ОП и ИП от воздействия ТЗЧ: обобщение опыта испытаний

А.Б. Боруздина, А.В. Яненко,  
Д.В.Бобровский, А.А. Печенкин,  
А.И. Чумаков, Л.Н.Кессаринский

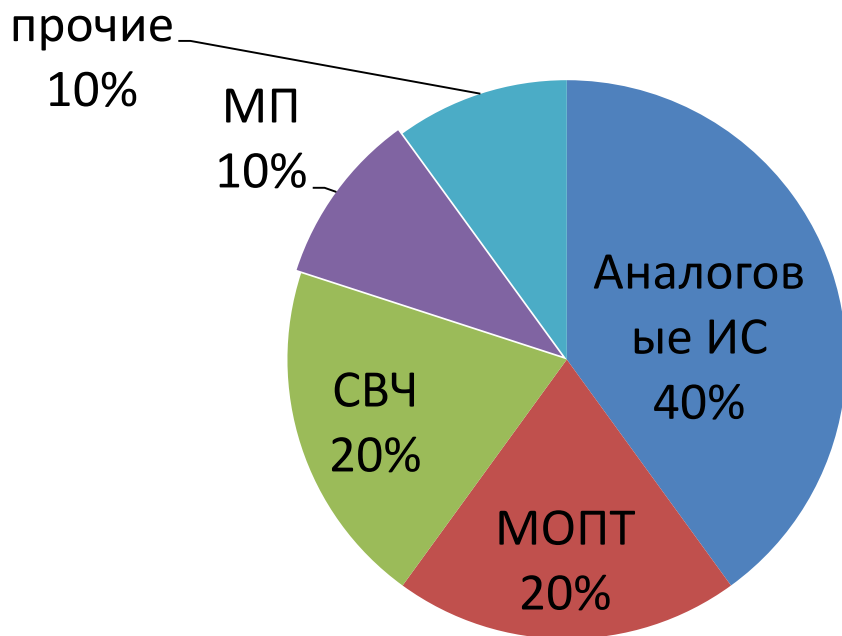
АО «ЭНПО СПЭЛС»  
1-2 марта 2017 г.

# Классификация ОРЭ отказов

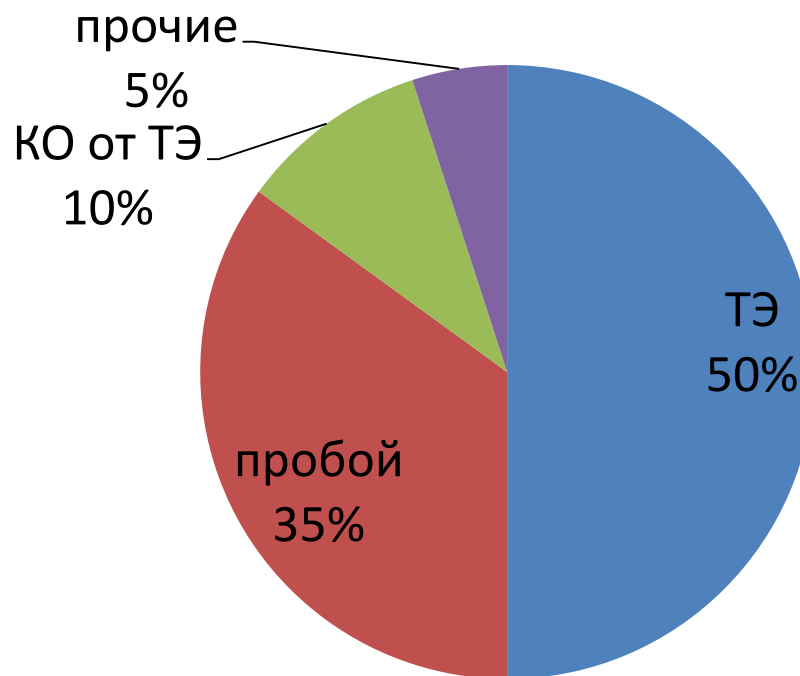
Вид ОРЭ КО		Наиболее чувствительны
Тиристорный эффект (ТЭ)	SEL (Single Event Latchup)	КМОП ИС
Одиночный микродозовый эффект	SEHE (Single Event Hard Error)	КМОП ИС
Одиночный эффект пробоя подзатворного диэлектрика	SEGR (Single Event Gate Rupture)	Мощные приборы
Эффект выгорания (вторичный пробой p-n перехода)	SEB (Single Event Burnout)	Мощные транзисторы

# ЭКБ отечественного и иностранного производства

Распределение ЭКБ с отказами по функциональным классам



Распределение по видам КО



30% - ЭКБ ОП : (15% МОПТ, 10% - аппаратура)

70% - ЭКБ ИП

30% - испытаны с применением лазерных установок

# Микродозовые эффекты (SENE)

---

В каких функциональных классах наблюдали:

- ОЗУ
- Контроллеры (в блоке ОЗУ)
- МОПТ
- ВИПы
- Линейные СН

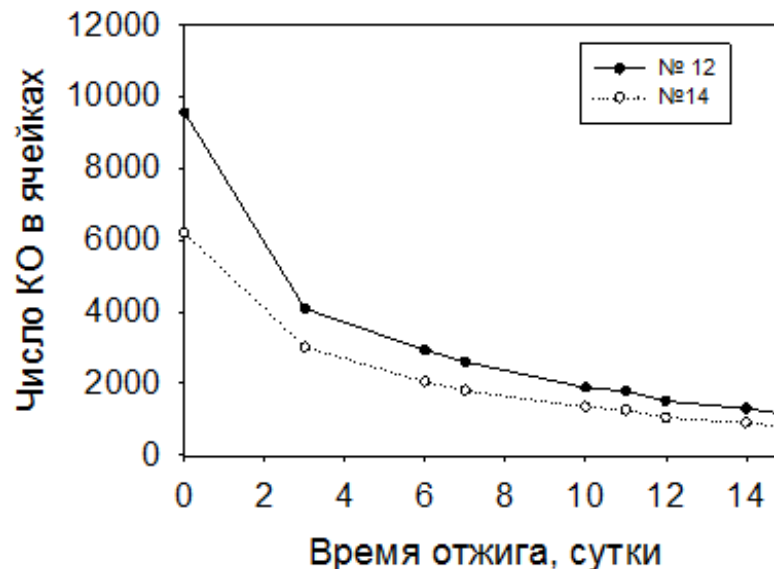
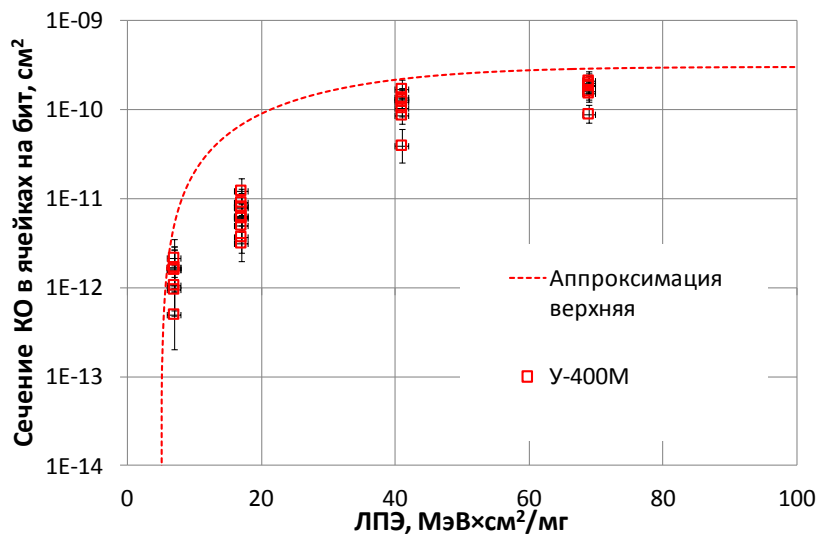
Число объектов с микродозовыми эффектами,  
испытанных в АО «ЭНПО СПЭЛС»:

2015 г: 1

2016 г: 9

# Микродозовые эффекты (SENE) от ТЗЧ в ячейках ОЗУ

Тип	Назначение	Порог КО в ячейках памяти	Уровень стойкости к дозе (без норм)
BU61580V2	контроллер	7 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	более 40 Крад
MT5C1008DCJ	ОЗУ	5 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	6 Крад
IDT71256SA20PZGI	ОЗУ	менее 40 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	15 Крад
K6R4008C1C	ОЗУ	5 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	50 Крад



Дозовая стойкость не гарантирует отсутствие микродозового отказа<sub>5</sub>

# Микродозовые эффекты (SENE) от ТЗЧ в ячейках ОЗУ

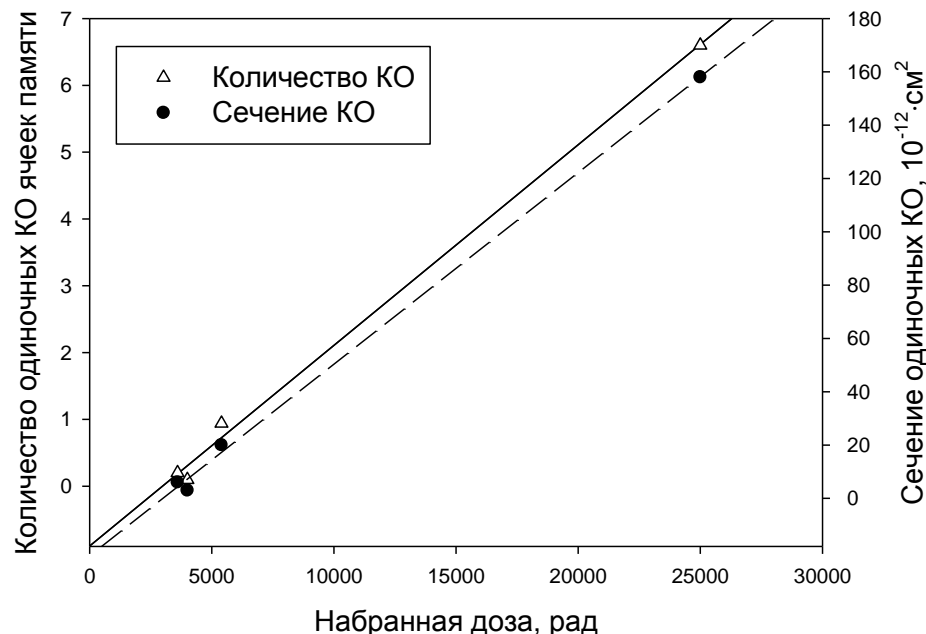
Ион	ЛПЭ ( $L_z$ ), МэВ·см <sup>2</sup> /мг	Набранный флюенс ( $\Phi_z$ ), см <sup>-2</sup>	Набранный доза ( $D_z$ ), рад	Набранный флюенс на момент регистрации первого отказа ( $\Phi_z$ ), см <sup>-2</sup>	Набранный доза на момент регистрации первого отказа ( $D_z$ ), рад
Xe	68	2,3E+07...2,6E+07	2,5E+04...2,8E+04	1,2E+05	1,3E+02
Ar	16	2,1E+07	5,4E+03	6,9E+06	1,7E+03
Ne	7	3,2E+07...3,6E+07	3,6E+03...4,0E+03	2,1E+07	2,4E+03

Суммарная поглощенная доза  $D_z$  при  
воздействии ТЗЧ по РД 134-0211-2013:

$$D_z = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot L_z \cdot \Phi_z$$

В случае микродозовых эффектов при  
оценке дозы необходимо принимать  
во внимание конечную площадь  
отдельного чувствительного элемента  
 $A_e$  и первичную рекомбинацию ( $K_z$ ):

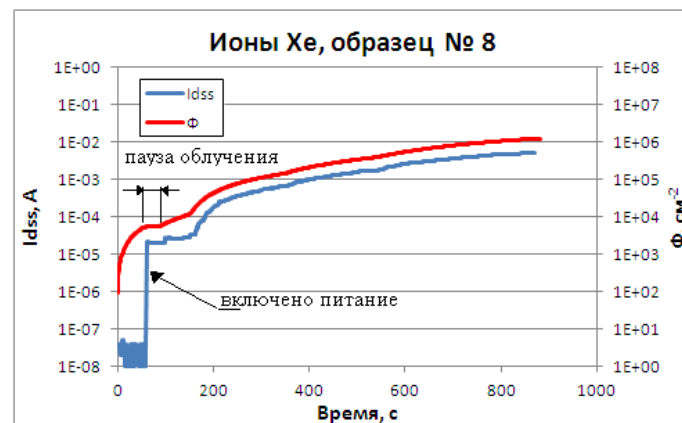
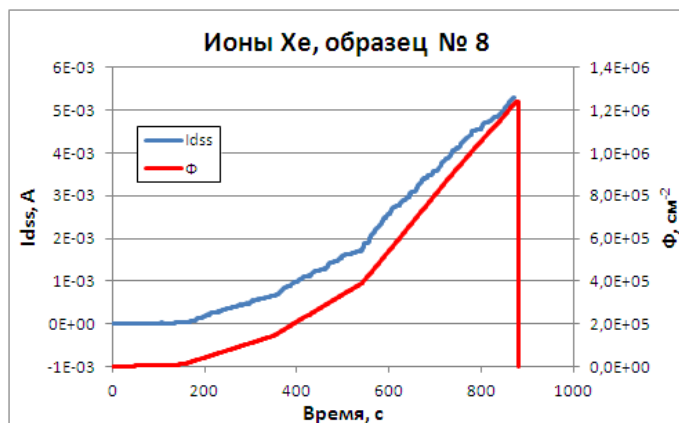
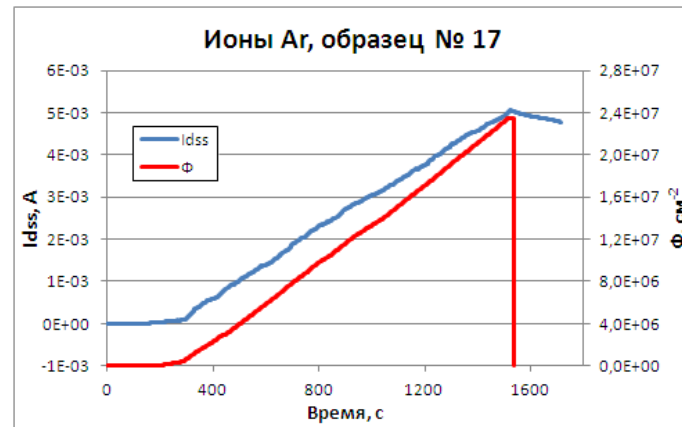
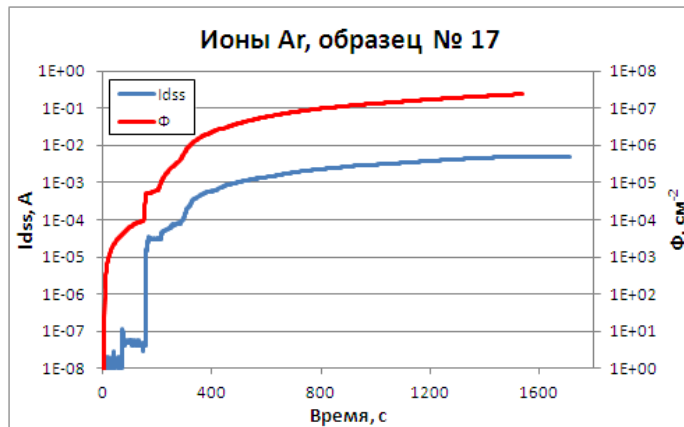
$$D_{zm} = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot L_z \cdot K_z / A_e$$



Зависимость сечения отказов и числа отказавших  
ячеек от набранной дозы при облучении ионами

# Микродозовые эффекты (SENE) от ТЗЧ в МОПТ

Ступенчатый рост тока стока, утечка компенсируется подачей дополнительного запирающего отрицательного напряжения на затвор. Постепенно отжигается даже при комнатной температуре



# КО как следствие ТЭ

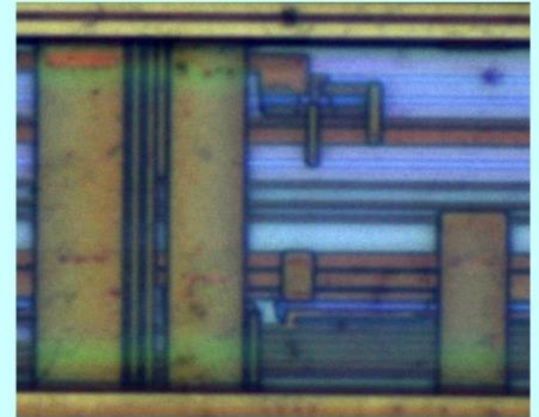
Возникновение КО из-за ТЭ проявляется в выгорании структуры и может происходить:

- При наборе статистики ТЭ во время испытаний;
- Во время выдержки в состоянии ТЭ.

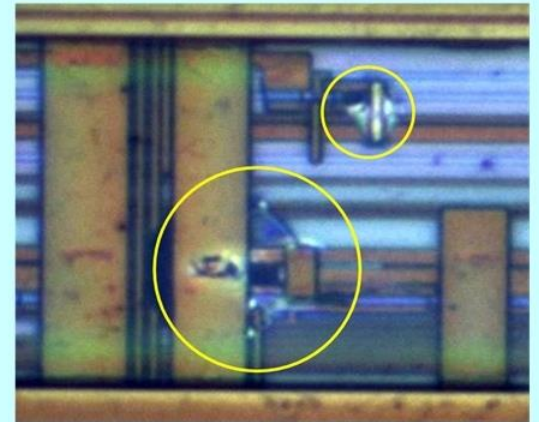
До ТЭ

КО развивается менее чем за 10 мкс

После ТЭ



ПЛИС ХС95144





# Подпороговые эффекты при испытаниях на ТЗЧ

## Объект: АЦП ИП (ADC128S052)

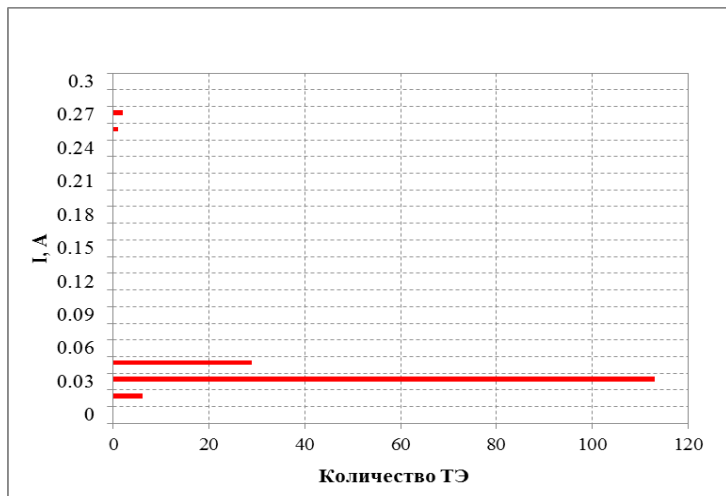
1. Снятие карты ТЭ, определение критических точек.



2. Выдержка 1с в каждой точке. КО нет



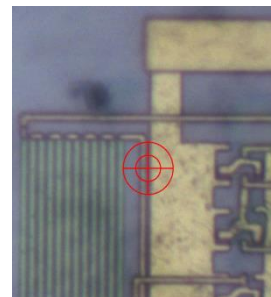
3. Выдержка 5 минут в точке с током 0,27А  
Результат – отказ через 2 минуты. Повреждение шины питания. Тиристорная структура больше не включается



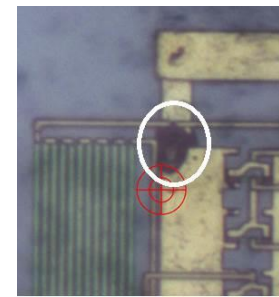
4. Циклическая выдержка 1с в точке с током 0,27А

Пауза между импульсами 10с (для предотвращения разогрева. Достаточность времени в паузе оценивалась по неизменности пороговой энергии.)

После 140 выдержек в ТЭ зафиксирован отказ микросхемы, аналогичный отказу при выдержке 5 минут.



Было



Стало

# Высокая чувствительность к ТЭ

Тип	Производитель	пороговые ЛПЭ ТЭ	сечение насыщения ТЭ
1986BE92У (МК)	АО «ПКК Миландр»	1 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	2,0·10 <sup>-2</sup> см <sup>2</sup>
1986BE4У (МК)		1 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	4,0·10 <sup>-2</sup> см <sup>2</sup>
5539TP026 5539TP016 (ЦВ)	АО «НИИМА «Прогресс» (ОКР «Процессор-10»)	менее 7 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	3,0·10 <sup>-1</sup> см <sup>2</sup>
Контроллер СН	Texas Instruments	6 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	2,4·10 <sup>-5</sup> см <sup>2</sup>

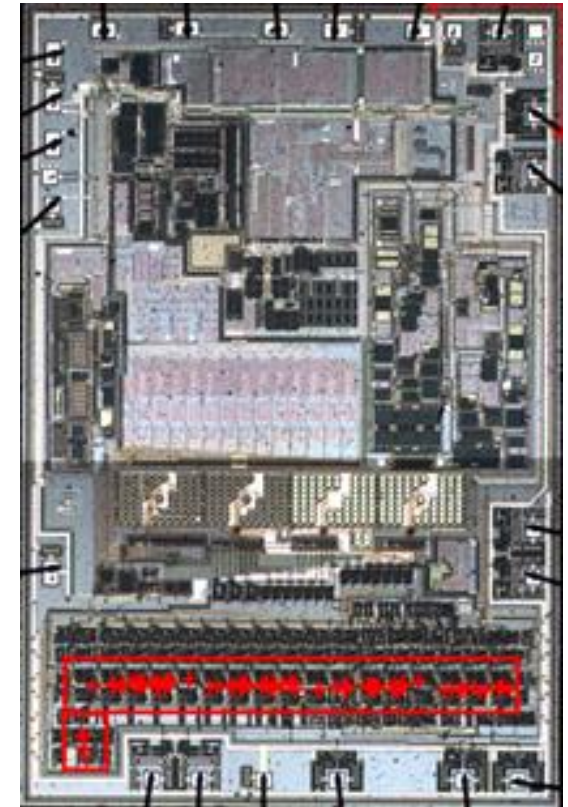
Проблемы из-за высокой чувствительности к ТЭ:

- 1) Не удастся проконтролировать сбои, предусмотренные ТЭ;
- 2) Применимость микросхемы со схемой парирования ТЭ зависит от параметров чувствительности (ПЧ).

# Внутренняя схема парирования ТЭ (АЦП ИП)

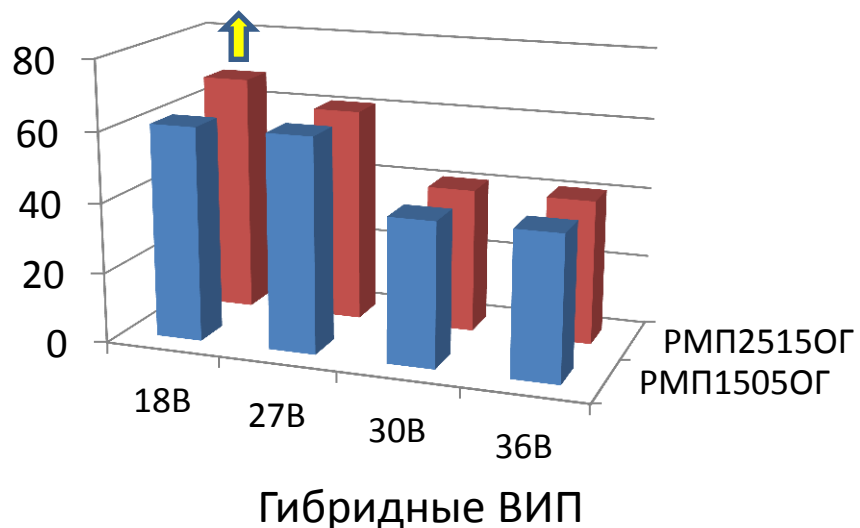
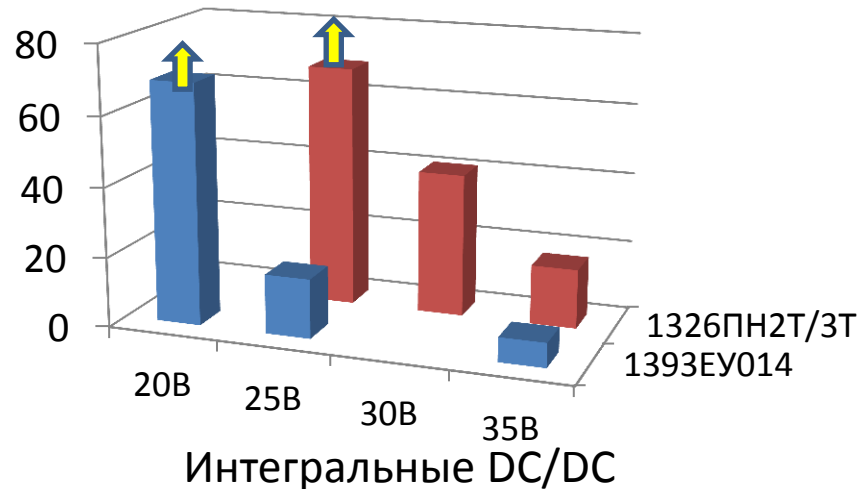
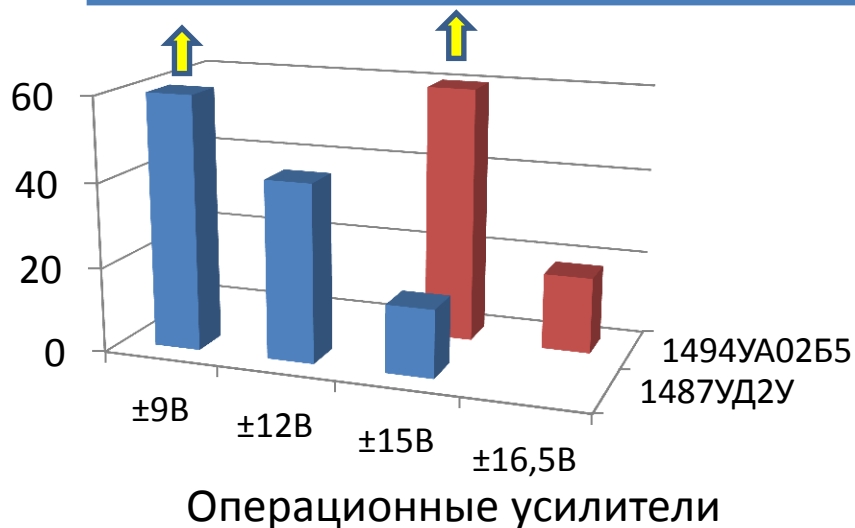
Внутренняя схема парирования срабатывает по порогу 75 мА

Воздействие	ЛПЭ/энергия	Наличие ТЭ
ионы	40 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	Есть : 1 ТЭ при T=+25°C
	15, 67 МэВ·см <sup>2</sup> /мг	нет (при T=+85°C)
лазер	От 1 до 10 нДж	Есть: выявлена область возникновения ТЭ с амплитудами 64...68 мА



При наличии внутренней схемы парирования:  
ионы+лазер или низкая плотность потока на ионах

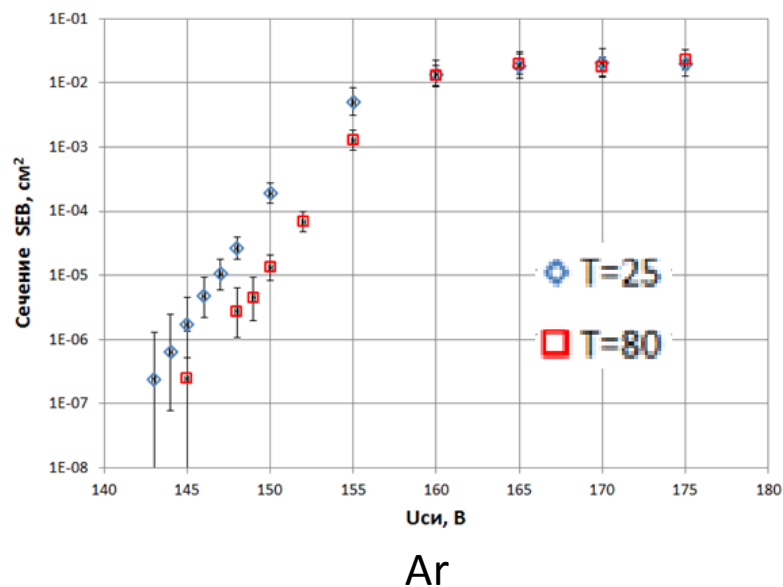
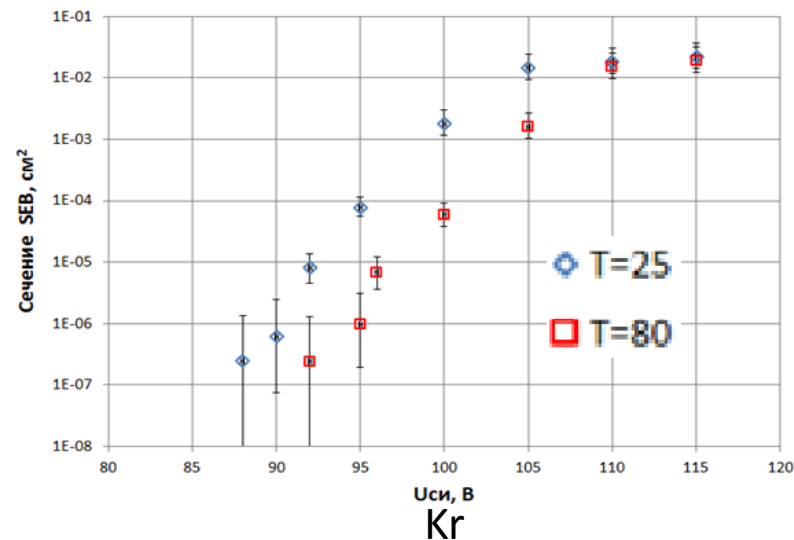
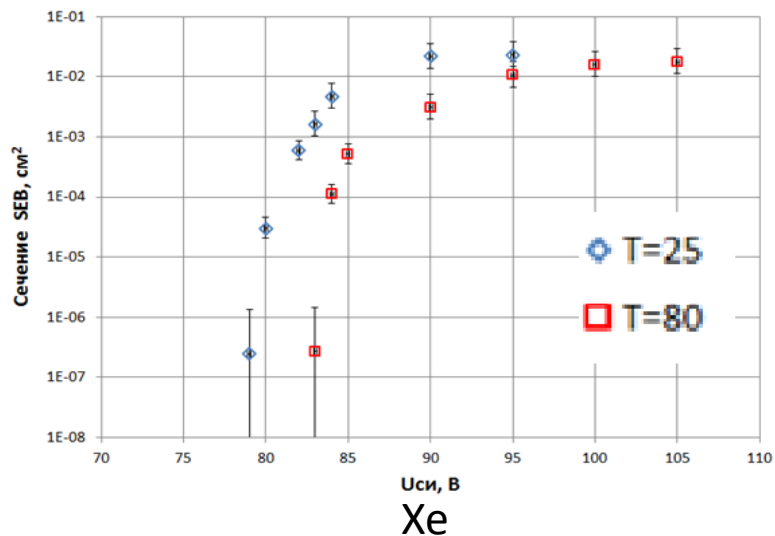
# Зависимость КО в АИС от напряжения питания



Пороговые ЛПЭ катастрофических отказов может измениться более чем в два раза даже при незначительном изменении напряжения питания.

Чем выше напряжение,  
тем ниже пороговые ЛПЭ  
отказа

# Зависимость эффекта SEB от температуры

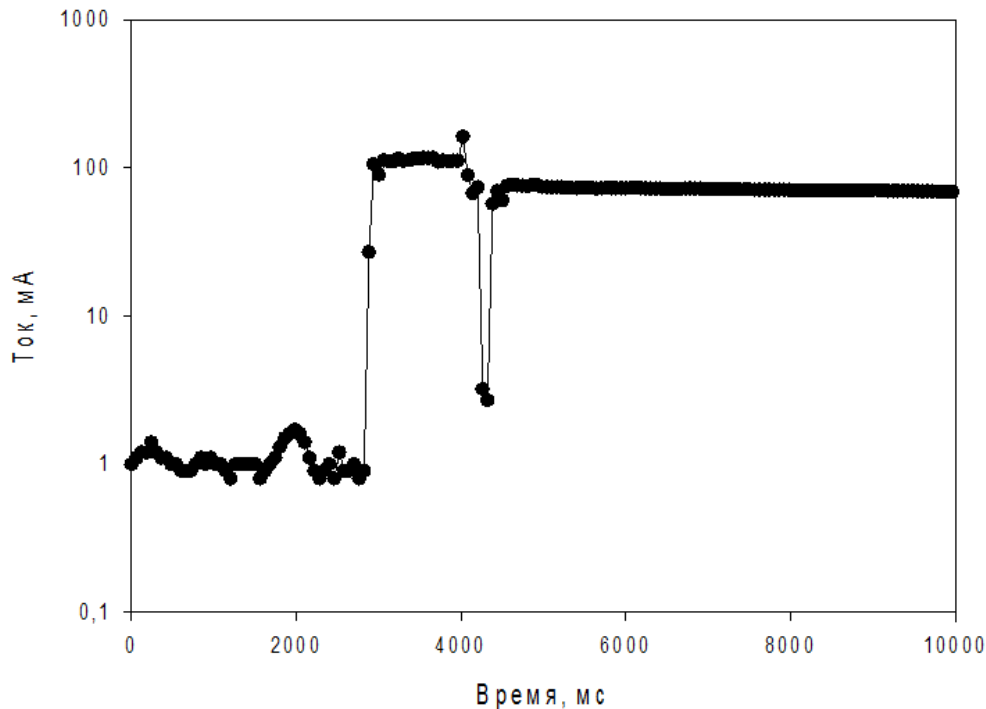


На примере мощного N-канального МОП-транзистора **определение ОБР**

Сечение эффекта SEB для определенного значения ЛПЭ ТЗЧ уменьшается при росте температуры.

Пороговое напряжение сток-исток эффекта SEB для определенного значения ЛПЭ ТЗЧ увеличивается при росте температуры.

# Отказы в КНИ 0,24 мкм



Объект: КМОП КНИ СОЗУ 1 Мбит, КМОП КНИ 0,24 мкм.

При воздействии с ЛПЭ=94 МэВ·см<sup>2</sup>/мг и при флюенсах 2E+07 частиц/см<sup>2</sup> и более наблюдались возрастания тока потребления на величину более 100 мА, которые не устранялось выключением источника питания.

Заключение по КО положительное (пороговые ЛПЭ не менее 80 МэВ·см<sup>2</sup>/мг), так как сечение КО не более  $7,5 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>

# Выводы

---

- **Рост числа ЭКБ с микродозовыми отказами от ТЗЧ и протонов КП;**
- **Применение схемы парирования ТЭ не гарантирует работоспособность ЭКБ: необходим анализ частоты и амплитуд тока в ТЭ;**
- **Испытания изделий с внутренней схемой парирования корректнее проводить в условиях низкой плотности потока частиц;**
- **При испытаниях необходимо учитывать режим (температуру и напряжение питания) ЭКБ в КА.**