

## **ЗАО «ЭИС» - Украина**

### **Сташевский Сергей Викторович,**

Инженер службы анализа безопасности АЭС,

Тел.: +380-6139-38191

Факс: +380-6139-17551

e-mail: stashevsky@eis.dv-com.net

### **Яровой Владлен Дмитриевич,**

Инженер службы анализа безопасности АЭС,

Тел.: +380-6139-38191

Факс: +380-6139-17551

e-mail: yarovoy@eis.dv-com.net

**Тема доклада:** «Использование вероятностной модели энергоблока №5 ЗАЭС для оценки эффективности замены оборудования АЭС»

---

## **ЦЕЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ АНАЛИЗА**

Целью выполнения Вероятностного анализа безопасности является получение численного значения частоты повреждения активной зоны реактора (ЧПАЗ) от внутренних исходных событий (ИСА) с учетом предлагаемой замены ИПУ КД и сравнение полученных результатов с аналогичными для “базовой вероятностной модели”, разработанной в процессе ВАБ уровня 1 для внутренних ИСА энергоблока №5 ЗАЭС (ВАБ-1). По результатам сравнительного анализа делается вывод об изменении общего уровня риска для энергоблока с точки зрения ВАБ.

## **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕМА РАБОТ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ**

В качестве базовой, была использована вероятностная модель (SAPHIRE Input Deck), созданная в рамках проекта Вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних ИСА энергоблока №5 ЗАЭС (ВАБ-1) в августе 2000 года.

Базовая вероятностная модель была подвергнута детальному анализу с точки зрения влияния предлагаемых изменений на

- деревья отказов;
- деревья событий;
- показатели надежности оборудования.

Как результат такого анализа, была создана обновленная вероятностная модель (сброс - подпитка). Такое название было выбрано из соображений, продиктованных возможностью анализируемого ИПУ КД поддерживать режим Feed&Bleed (сброс & подпитка), который, в настоящее время является исследовательским для ЗАЭС и не рассматривается в эксплуатационной и проектной документации станции. Однако, несмотря на это, интерес к возможности реализации этого режима на ЗАЭС постоянно растет, поскольку режим позволяет безопасно остановить энергоблок при полной потере питательной воды к ПГ и при этом избежать условий возникновения эффекта «хладоломкости».

На стадии анализа деревьев отказов были проанализированы системные модели фронтальных, обеспечивающих и управляющих систем на предмет возможных изменений, связанных с заменой оборудования ЗАЭС.

Функциональные деревья отказов (ФДО) были проанализированы для каждой функции безопасности ДС, и там где возможно, построены новые ФДО, учитывающие возможности нового оборудования в процессе преодоления последствий аварий.

Дополнительно анализировались возможные изменения в действиях оперативного персонала.

Проведенный анализ чувствительности вероятностной модели показал изменения суммарной ЧПАЗ в зависимости от изменения показателей надежности рассматриваемого оборудования.

Все расчеты обновленной вероятностной модели блока 5 ЗАЭС были выполнены с применением расчетного кода SAPHIRE 6, являющегося интегральной системой оценки риска и официальным программным обеспечением проекта ВАБ-1.

## КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ИПУ КД

Ниже приведена таблица 1 для качественного анализа требований, предъявляемых к ИПУ КД новой конструкции и возможность учета этих требований в вероятностной модели ВАБ-1.

Таблица 1 Качественный анализ требований к ИПУ КД.

№	Описание требования	Как учитывается "базовой" моделью ВАБ-1	Изменения вероятностной модели
1	Реализация процедуры «сброс-подпитка» (F&V)	Не учитывается. Режим F&V реализован только с использованием системы YR.	Изменены ФДО, включающие ФБ "Подпитка ПГ" путем добавления альтернативного режима F&V в случае полной потери питательной воды.
2	Обеспечить возможность управления, принудительного открытия и закрытия предохранительного клапана во всем диапазоне давлений первого контура, от рабочего приблизительно до 4 – 5 кгс/см <sup>2</sup> , с БЩУ и РЩУ	Не учитывается	Добавлено новое действие персонала по принудительному управлению ПК КД в аварийных режимах.
3	Обеспечить сигнализацию положения главного клапана и импульсных клапанов или электромагнитных клапанов, подающих управляющую среду, как на БЩУ, так и на РЩУ;	Не учитывается	Учтено в расчете вероятности ошибки персонала
4	ИПУ должен быть аттестован на работу в режиме сброса насыщенного пара, пароводяной смеси и холодной воды.	Не учитывается	Учтено в расчете показателей надежности оборудования
5	Отказ системы управления ИПУ не должен приводить к отказу системы защиты первого контура от превышения давления и невыполнению функции безопасности.	Учитывается. Система управления ИПУ не включена в дерево отказов	Изменений модели не требуется.
6	Конструкция клапана должна обеспечивать вероятность безотказной работы (по видам отказов: НТ; СС;	В базовой модели использованы другие численные	Изменены вероятности базовых событий для указанных типов

№	Описание требования	Как учитывается “базовой” моделью ВАБ-1	Изменения вероятностной модели
	НС; НВ) при срабатывании 25 циклов за 4 года не менее 0,995.	значения вероятности	отказов
7	Доверительная вероятность для расчета нижней границы вероятности безотказной работы - 0,95.	В базовой модели использованы другие численные значения вероятности	Учтено в расчете показателей надежности
8	Средняя наработка на отказ (по видам отказов: НП; РН; НБ; НН; НЭ; НФ) в режиме ожидания не менее 100000 часов.	В базовой модели использовано другое численное значение	Учтено в расчете показателей надежности

## ИЗМЕНЕНИЯ В ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ЗАЭС

1.1 Для учета реализации режима “сброс – подпитка” в базовую модель были внесены следующие изменения:

В функциональные деревья отказов внесена дополнительная функция «Feed&Bleed».

В ФДО – отказ функции поддержания давления во втором контуре (Е1Е2) добавлен трансфер на дерево отказов F&B-E1E2.

В ДО – отказ функции расхолаживание по второму контуру (Е1Е2) добавлен трансфер на дерево отказов F&B-E1E3.

F&B-E1E2 и F&B-E1E3 это ДО режима “сброс – подпитка” с проверкой работоспособности паросбросных устройств БРУ-А, ПК ПГ и БРУ-К в режимах поддержания давления во втором контуре и БРУ-А, БРУ-К в режиме расхолаживания по второму контуру, т.е. при полной потере питательной воды.

Смоделированы ДО F&B-E1E2 и F&B-E1E3, которые включают в себя реализацию процедуры “сброс – подпитка” (F&B) в следующих режимах работы:

- один ИПУ КД с одним каналом САОЗ ВД;
- два ИПУ КД с одним каналом САОЗ НД.

1.2 Вероятность отказов ИПУ КД, из условий приведенных в Таблице 1, для видов отказов НТ, СС, НС и НВ была принята 5Е-3. Тип распределения - Beta, параметр распределения равен 184.

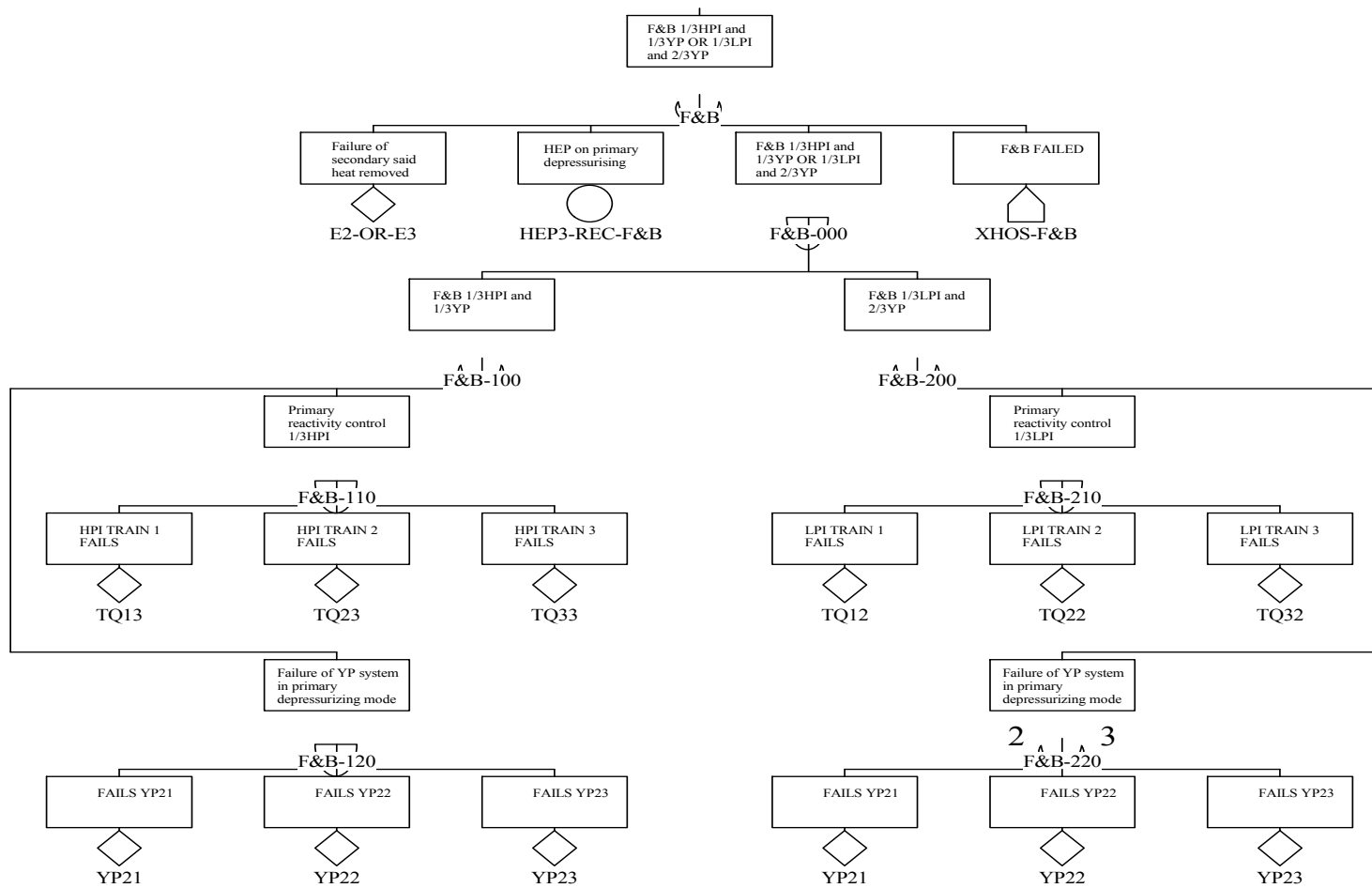


Рис. 1. ДО F&B «Режим «сброс - подпитка» в случае полной потери питательной воды»

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА

### АНАЛИЗ ЗНАЧИМОСТИ

Таблица 2 Значимость по Фусселю –Весселю для ИСА и базисных событий.

№	Код базового события или ИСА	Вероятность (частота), 1/год	Значение по Фусселю - Весселю		Описание событий – вкладчиков в ЧПАЗ
			Базовая	Сброс – подпитка	
1	T42	2.500E-03	1.930E-01	5.246E-002	ЧПАЗ от ИСА «Средние течи из 1 во 2 контур»
2	S4-HSD	1.720E-01	1.769E-01	2.218E-001	ЧПАЗ от ИСА «Малые течи 1 контура, компенсируемые системой ТК»
3	HEP2-EOP-COOLD4	2.980E-03	1.692E-01	8.933E-003	Ошибка персонала при переводе БРУ-А (БРУ-К) в режим расхолаживания
4	T61	4.790E-02	1.431E-01	2.783E-001	ЧПАЗ от ИСА «Не изолируемый разрыв паропровода за пределами ГО между ПГ и БЗОК»
5	T31	1.220E+00	1.056E-01	8.778E-002	ЧПАЗ от ИСА «Потеря электроснабжения собственных нужд»
6	T1	1.140E-02	1.046E-01	3.171E-002	ЧПАЗ от ИСА «Переходные процессы, приводящие к срабатыванию а.з.»
7	T2	6.000E-03	1.039E-01	1.043E-001	ЧПАЗ от ИСА «Потеря основной и вспомогательной питательной воды»
8	NPS2-SUP	1.000E-01	1.032E-01	3.079E-002	Суперкомпонент восстановления электроснабжения
9	QFN1D0N-MDP-R-X	2.130E-05	9.867E-02	1.962E-001	ООП 6/6 насосов QF11-31D01,02 в работе
10	T41	1.000E-02	7.730E-02	4.956E-002	ЧПАЗ от ИСА «Малые течи из 1 во 2 контур»

### АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МОДЕЛИ F&V.

Анализ неопределенности выполнялся с целью получения оценки параметров неопределенности основных результатов вероятностных расчетов. Расчеты неопределенностей (квантили распределения) производились кодом SAPHIRE с использованием метода статистического моделирования - метода Монте-Карло. Результаты анализа представлены в таблице 5.2.

Ниже приведены параметры неопределенностей для следующих основных результатов вероятностных расчетов:

Частота конечного состояния (ЧПАЗ суммарная), 1/год.

ЧПАЗ от исходных событий аварий, 1/год.

Таблица 3 Анализ неопределенности ЧПАЗ

№ п/п	Наименование	Точечная оценка	Значимое	5%	50%	95%	Станд. отклонение
1	Частота повреждения активной зоны	2.286E-05	2.256E-05	8.516E-06	1.980E-05	4.557E-05	1.583E-05
2	ИСА S1	9.791E-08	9.306E-08	4.114E-10	3.842E-08	3.938E-07	1.375E-07
3	ИСА S2	4.623E-07	4.193E-07	7.103E-10	1.332E-07	1.734E-06	1.070E-06
4	ИСА S3	5.145E-07	5.250E-07	1.159E-07	4.147E-07	1.278E-06	4.195E-07
5	ИСА S4	5.070E-06	5.019E-06	7.289E-07	3.703E-06	1.403E-05	4.495E-06
6	ИСА T1	7.247E-07	7.172E-07	1.259E-07	4.485E-07	2.281E-06	8.723E-07
7	ИСА T2	2.384E-06	2.386E-06	1.495E-07	4.620E-07	6.472E-06	1.401E-05
8	ИСА T31	2.006E-06	1.995E-06	4.410E-07	1.458E-06	5.511E-06	1.790E-06
9	ИСА T32	8.952E-08	8.679E-08	1.652E-08	6.654E-08	2.196E-07	2.438E-08
10	ИСА T41	1.133E-06	1.123E-06	3.781E-09	2.960E-07	4.917E-06	2.489E-06
11	ИСА T42	1.199E-06	1.221E-06	3.322E-09	3.768E-07	5.173E-06	2.682E-06
12	ИСА T5	1.552E-06	1.525E-06	2.640E-07	1.248E-06	3.736E-06	1.234E-06

№ п/п	Наименование	Точечная оценка	Значимое	5%	50%	95%	Станд. отклонение
13	ИСА Т61	6.361E-06	6.193E-06	1.155E-06	4.579E-06	1.702E-05	5.232E-06
14	ИСА Т62	9.891E-07	1.020E-06	1.126E-07	6.866E-07	2.989E-06	1.002E-06
15	ИСА Т7	1.243E-09	1.291E-09	2.860E-12	3.859E-10	4.929E-09	2.832E-09
16	ИСА R	2.700E-07	2.601E-07	1.085E-09	1.140E-07	9.968E-07	3.522E-07

## АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

При выполнении анализа чувствительности преследовалась цель определения влияния на суммарную ЧПАЗ:

- изменения показателей надежности ИПУ КД для базовой модели;
- изменения показателей надежности ИПУ КД для модели F&B;
- определения влияния действий персонала по управлению режимом “сброс - подпитка”.

В таблице 4 и на рисунке 2 представлены результаты анализа чувствительности.

Таблица 4 Анализ чувствительности.

№ п/п	Изменяемая группа	Коэффициент умножения (Фактор)	Значение ЧПАЗ, 1/год	Абсолютное отклонение от базовой ЧПАЗ, 1/год	Относительное отклонение от базовой ЧПАЗ
1	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	0.1	2.278E-05	-2.244E-05	0.504
2	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	0.2	2.279E-05	-2.243E-05	0.504
3	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	1	2.282E-05	-2.240E-05	0.505
4	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	1.63	2.286E-05	-2.236E-05	0.506
5	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	2	2.288E-05	-2.234E-05	0.506
6	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	10	2.417E-05	-2.105E-05	0.534
7	Отказ ИПУ КД с реализованным режимом сброс - подпитка	20	3.077E-05	-1.445E-05	0.680
8	Отказ ИПУ КД	0.1	4.514E-05	-8.000E-08	0.998
9	Отказ ИПУ КД	0.2	4.515E-05	-7.000E-08	0.998
10	Отказ ИПУ КД	1	4.518E-05	-4.000E-08	0.999
11	Отказ ИПУ КД (Базовый расчет для ЗАЭС 5)	1.63	4.522E-05	0.000E+00	1.000
12	Отказ ИПУ КД	2	4.524E-05	2.000E-08	1.000
13	Отказ ИПУ КД	10	4.653E-05	1.310E-06	1.029
14	Отказ ИПУ КД	20	5.312E-05	7.900E-06	1.175
15	Ошибка персонала при организации режима сброс - подпитка	0,01	2.236E-05	-5.000E-07	0.978
16	Ошибка персонала при организации режима сброс - подпитка	0,1	2.240E-05	-4.600E-07	0.980
17	Ошибка персонала при организации режима сброс - подпитка	1	2.286E-05	0.000E+00	1.000
18	Ошибка персонала при организации режима сброс - подпитка	10	2.744E-05	4.580E-06	1.200

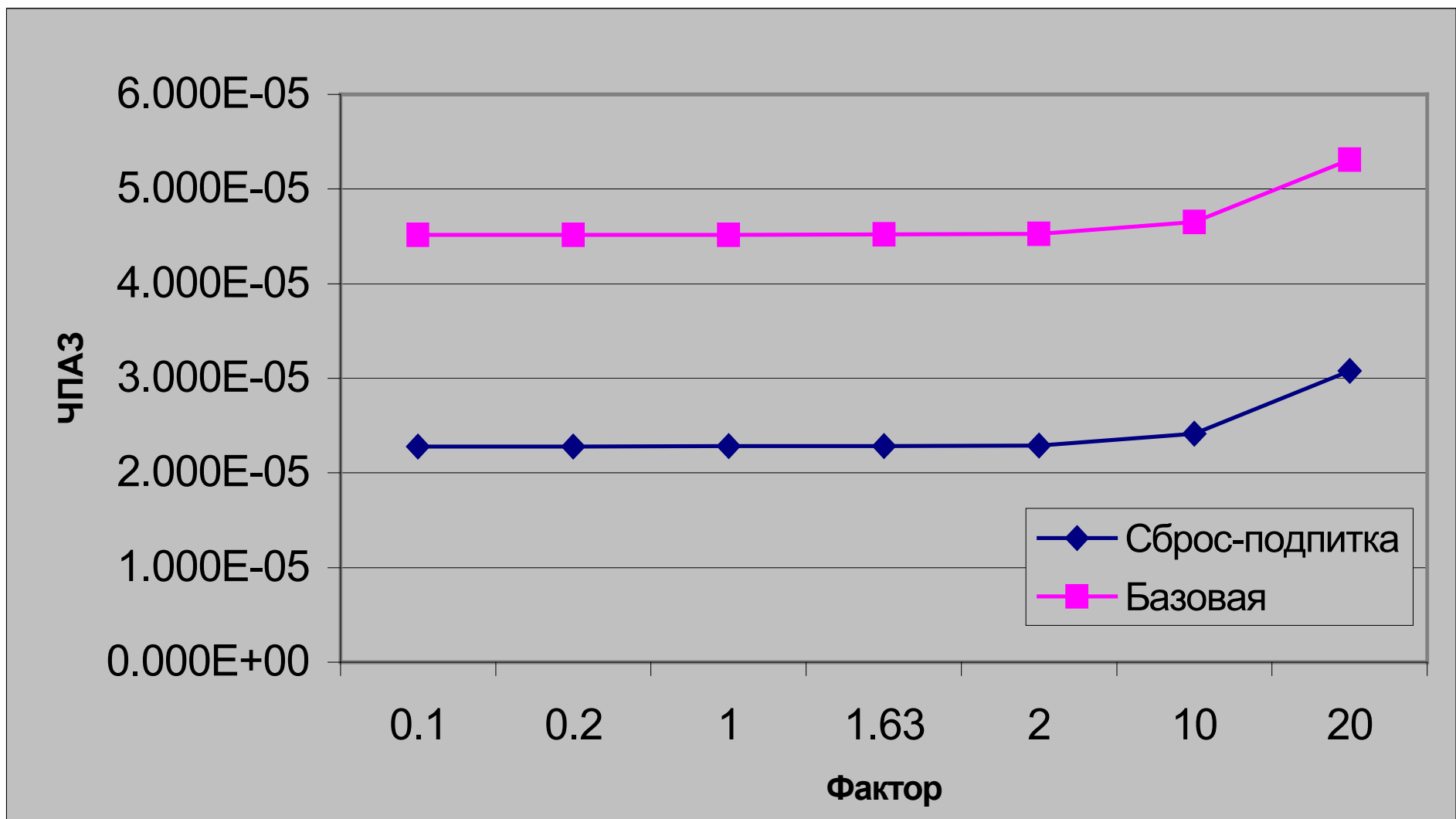


Рис 2. Анализ чувствительности.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ С “БАЗОВОЙ МОДЕЛЬЮ” ВАБ ЗАЭС

### РАЗЛИЧИЕ В ЧПАЗ

Таблица 5 Сравнение результатов по значению суммарной ЧПАЗ

ЧПАЗ, 1\год, “базовая модель”	ЧПАЗ, 1\год, “модель F&B”	Абсолютное отклонение ЧПАЗ, 1/год (базовой модели от модели F&B)	Относительное отклонение ЧПАЗ, 1/год (базовой модели от модели F&B)
<b>4.52E-05</b>	<b>2.29E-05</b>	<b>2.236E-05</b>	<b>1.978</b>

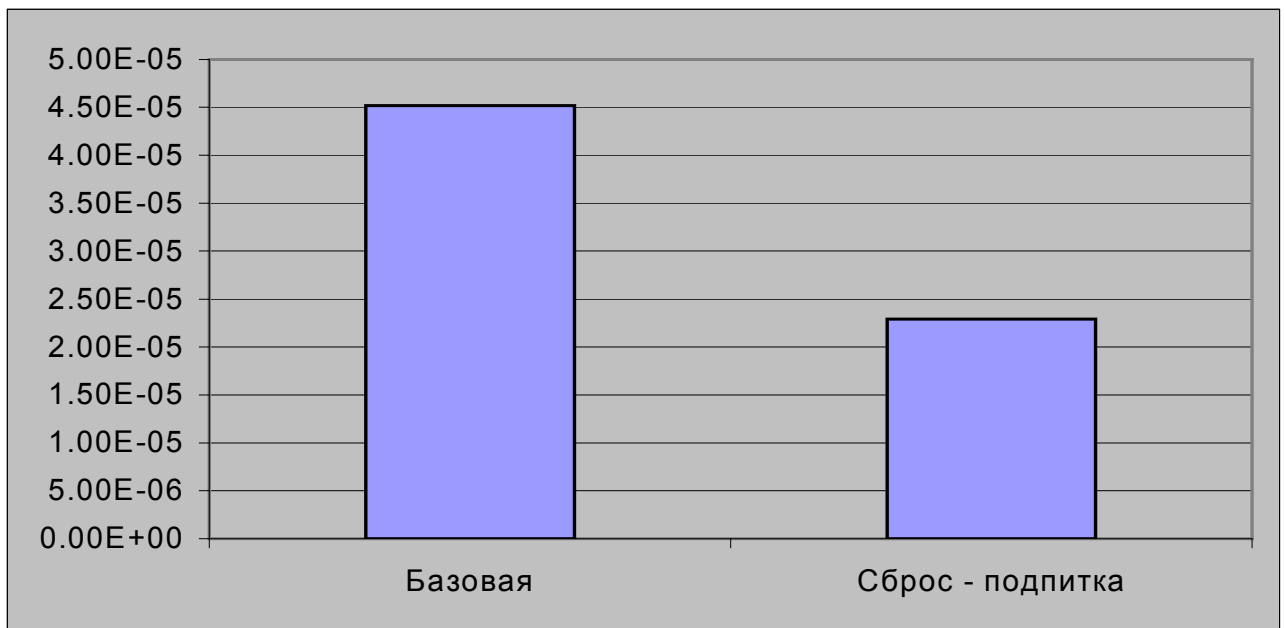


Рис 3. Различие в ЧПАЗ.

## ВКЛАД ИСА

Результаты сравнения результатов финальной количественной оценки по всем рассматриваемым ИСА для базовой модели и модели F&B. Как показано в Табл.6.2 и на Рис.6.2 настоящего раздела, суммарная частота повреждения активной зоны равняется  $4.52E-05$  1/год для базовой модели и  $2,28E-005$  для модели F&B.

Для более подробного анализа, исходные события и доминантные аварийные последовательности, представлены в пределах трех основных групп ИСА:

- 1) Аварии с потерей теплоносителя 1 контура;
- 2) Переходные процессы;
- 3) Специальные инициаторы.

Таблица 6 Сравнение вклада ИСА в суммарную ЧПАЗ

№	Исходное событие аварии (ИСА)	Частота ИСА, 1\год	ЧПАЗ, 1\год		% от группы ИСА		% от суммарной ЧПАЗ	
			Базовая	F&B	Базовая	F&B	Базовая	F&B
1	S1	3.00E-04	9.791E-08	9.791E-08	1.065E+00	1.593E+00	2.165E-01	4.284E-01
2	S2	1.00E-03	4.623E-07	4.623E-07	5.028E+00	7.523E+00	1.022E+00	2.023E+00
3	S3-HSD	6.98E-03	6.350E-07	5.145E-07	6.907E+00	8.373E+00	1.404E+00	2.251E+00
4	S4-HSD	1.72E-01	7.999E-06	5.070E-06	8.700E+01	8.251E+01	1.769E+01	2.218E+01
	ЧПАЗ для группы течей 1 контура внутри ГО		9.194E-06	6.145E-06	100.00	100.00	2.033E+01	2.688E+01
5	T1	1.14E-02	4.732E-06	7.248E-07	3.268E+01	1.392E+01	1.046E+01	3.171E+00
6	T2	6.00E-03	4.699E-06	2.384E-06	3.245E+01	4.580E+01	1.039E+01	1.043E+01
7	T31	1.20E+00	4.775E-06	2.007E-06	3.298E+01	3.855E+01	1.056E+01	8.780E+00
8	T32	4.69E-02	2.744E-07	8.951E-08	1.895E+00	1.720E+00	6.068E-01	3.916E-01
	ЧПАЗ для группы переходных процессов		1.448E-05	5.205E-06	100.00	100.00	3.202E+01	2.277E+01
9	T41	1.00E-02	3.495E-06	1.133E-06	1.623E+01	9.844E+00	7.730E+00	4.955E+00
10	T42	2.50E-03	8.728E-06	1.199E-06	4.052E+01	1.042E+01	1.930E+01	5.246E+00
11	T5	1.56E-02	1.587E-06	1.552E-06	7.365E+00	1.349E+01	3.509E+00	6.790E+00
12	T61	4.79E-02	6.469E-06	6.362E-06	3.003E+01	5.529E+01	1.431E+01	2.783E+01
13	T62	1.00E-03	9.909E-07	9.891E-07	4.600E+00	8.597E+00	2.192E+00	4.328E+00
14	T7	4.50E-05	1.934E-09	1.243E-09	8.977E-03	1.080E-02	4.277E-03	5.439E-03
15	R	2.70E-07	2.700E-07	2.700E-07	1.253E+00	2.347E+00	5.971E-01	1.181E+00
	ЧПАЗ для группы специальных инициаторов		2.154E-05	1.151E-05	100.00	100.00	4.764E+01	5.034E+01
	<b>ОБЩАЯ</b>		<b>4.522E-05</b>	<b>2.286E-05</b>			<b>100</b>	<b>100</b>

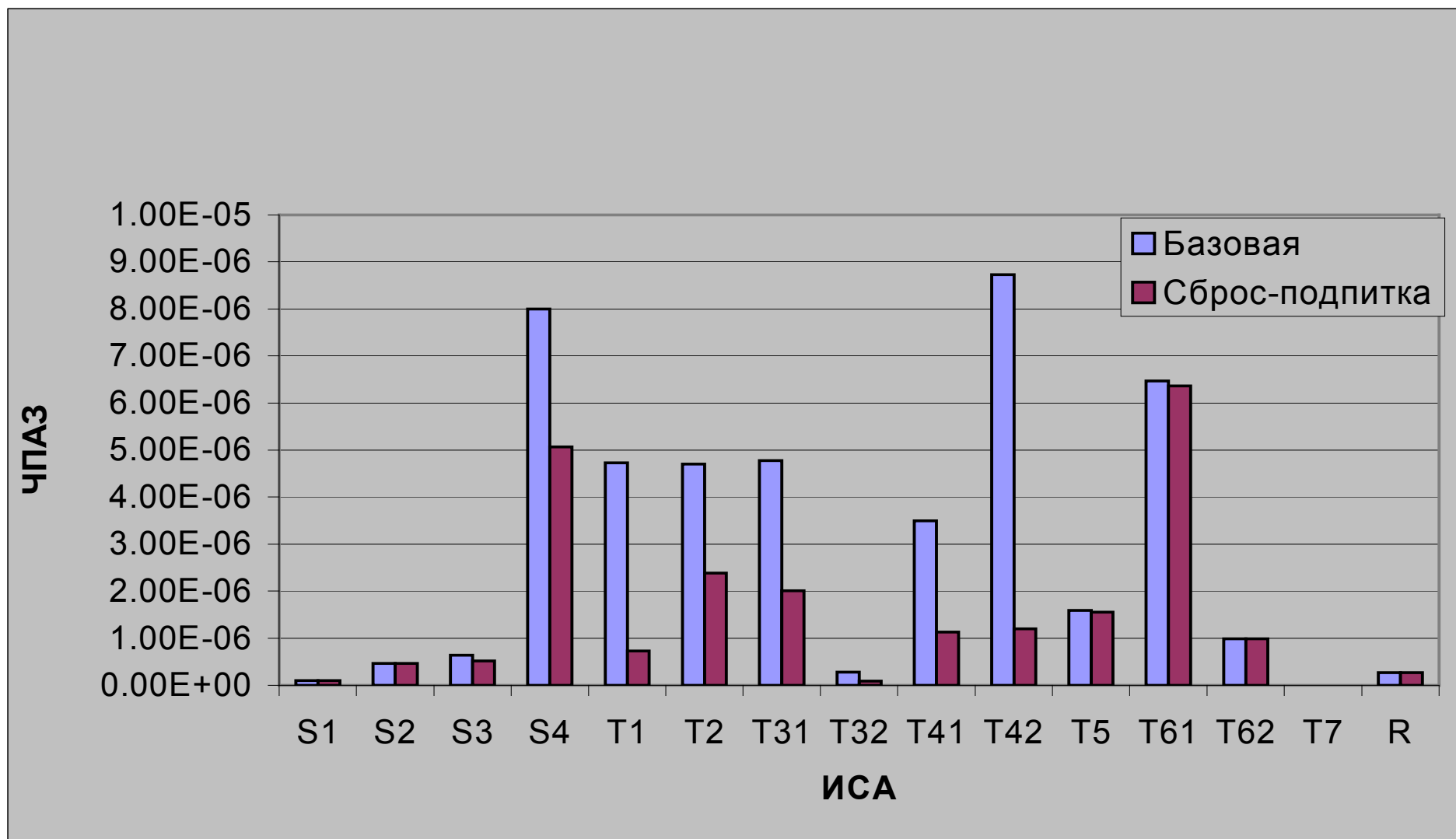


Рис. 4. Сравнение вклада ИСА в ЧПАЗ.

## ВКЛАД ФУНКЦИЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Относительный вклад функций безопасности в суммарную ЧПАЗ. Вначале были определены все аварийные последовательности, которые включают отказ рассматриваемой функции (с учетом наложений отказа одной функции на другую). Следующим шагом была определена сумма частот для выбранных АП ( $S_{fun}$ ). Процентный удельный вклад конкретной ФБ определялся как отношение  $S_{fun}$  к суммарной ЧПАЗ. Результаты анализа представлены в таблице 7 и на Рис. 5.

Таблица 7 Сравнение вклада функций безопасности в ЧПАЗ.

№	Код ФБ	Название функции \ подфункции безопасности	Частота, 1\год		Весовой вклад в ЧПАЗ, %	
			Базовая	Feed & Bleed	Базовая	Feed & Bleed
1	P1	Изоляция парогенератора по пару	1.284E-05	1.286E-05	16.697	31.214
2	E2	Поддержание давления во втором контуре	2.067E-05	1.249E-05	26.879	30.316
3	D3	Обеспечение запаса теплоносителя в первом контуре ГЕ САОЗ	5.254E-06	5.254E-06	6.832	12.752
4	G2	Защита первого контура от превышения давления	2.176E-06	2.171E-06	2.830	5.269
5	D2	Обеспечение запаса теплоносителя в первом контуре САОЗ ВД	1.459E-06	1.435E-06	1.897	3.483
6	B2	Ввод бора в первый контур от САОЗ ВД (TQ13-33)	1.441E-06	1.435E-06	1.874	3.483
7	F1	Расхолаживание по первому контуру и отвод остаточных тепловыделений	1.41E-06	1.41E-06	1.834	3.422
8	P2	Изоляция парогенератора по питательной воде	9.68E-07	9.667E-07	1.259	2.346
9	E1	Подпитка парогенераторов	1.88E-05	9.150E-07	24.447	2.221
10	R	Электроснабжение собственных нужд	7.154E-07	7.00E-07	0.930	1.699
11	D4	Обеспечение запаса теплоносителя в первом контуре САОЗ НД	4.957E-07	4.955E-07	0.645	1.203
12	G1	Управление давлением первого контура	3.224E-07	3.22E-07	0.419	0.782
13	E3	Работа второго контура в режиме расхолаживания	9.965E-06	2.784E-07	12.958	0.676
14	F2	Расхолаживание по первому контуру и отвод остаточных тепловыделений	2.002E-07	2.002E-07	0.260	0.486
15	B3	Ввод бора в первый контур от САОЗ ВД (TQ14-34)	1.56E-07	1.56E-07	0.203	0.379
16	B1	Ввод бора в первый контур от системы ТК	3.45E-08	3.439E-08	0.045	0.083
17	D1	Обеспечение запаса теплоносителя в первом контуре системой ТК	3.030E-08	3.020E-08	0.039	0.073
18	C	Отключение ГЦН аварийной петли	2.377E-09	2.377E-09	0.003	0.006

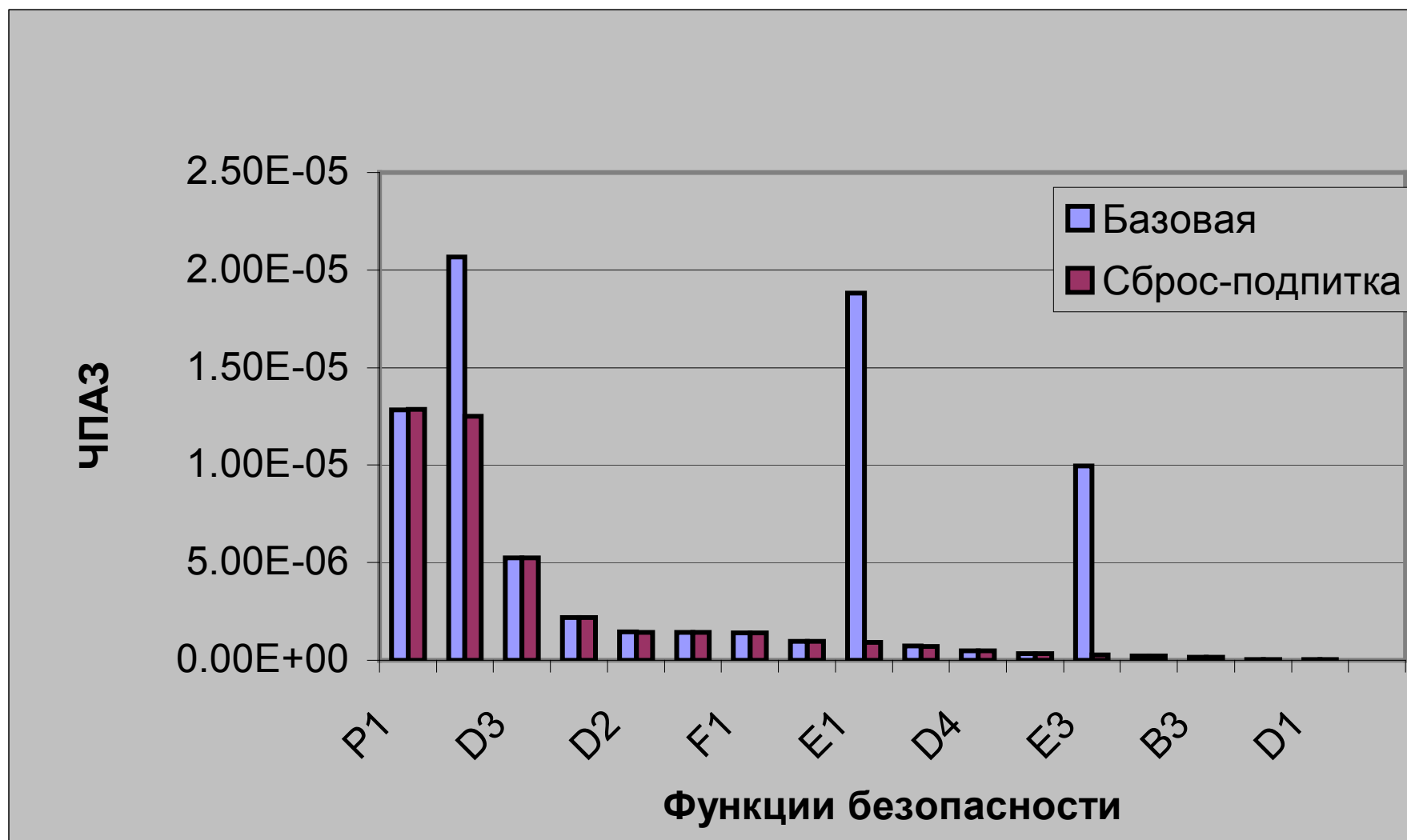


Рис. 5 Вклад функций безопасности в ЧПА3.

## АНАЛИЗ ФУНКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ «ОТВОД ТЕПЛА ПО ВТОРОМУ КОНТУРУ»

Отдельно выполнен анализ функций безопасности «отвод тепла по второму контуру», которые включают в себя функцию «подпитка парогенераторов»

Таблица 8. Анализ функций безопасности «отвод тепла по второму контуру»

Функция безопасности	Базовая	Сброс - подпитка	Абсолютная разность результатов	Относительная разность результатов
<b>"Отвод тепла по второму контуру / Второй контур в режиме поддержания давления"</b>				
S3-E1E2	1.73E-05	6.17E-07	1.67E-05	27.99
S4-E1E2	1.73E-05	6.17E-07	1.67E-05	27.99
T1-E1E2-1	1.32E-02	3.54E-04	1.28E-02	37.24
T1-E1E2-2	5.88E-06	5.13E-07	5.37E-06	11.48
T2-E1E2-1	4.19E-04	3.81E-05	3.81E-04	11.01
T31-E1E2	2.47E-06	2.23E-07	2.24E-06	11.05
T32-E1E2	5.85E-06	5.12E-07	5.34E-06	11.44
T5-E1E2-1	2.47E-06	2.23E-07	2.24E-06	11.06
T5-E1E2-2	2.47E-06	2.24E-07	2.25E-06	11.04
T5-E1E2-3	4.19E-04	3.81E-05	3.81E-04	11.01
T61-E1E2-1	2.47E-06	2.23E-07	2.25E-06	11.06
T61-E1E2-2	2.47E-06	2.24E-07	2.25E-06	11.04
T62-E1E2-1	2.47E-06	2.24E-07	2.25E-06	11.04
T62-E1E2-2	2.47E-06	2.24E-07	2.25E-06	11.04
T7-E1E2-2	3.74E-06	2.55E-07	3.49E-06	14.70
Среднее значение	9.40E-04	2.90E-05	9.11E-04	15.34
<b>Функция безопасности "Отвод тепла по второму контуру / Второй контур в режиме расхолаживания"</b>				
S3-E1E3	2.77E-03	7.42E-05	2.69E-03	37.30
S4-E1E3	2.24E-04	6.28E-06	2.17E-04	35.62
T1-E1E3-1	1.34E-02	3.64E-04	1.31E-02	36.90
T1-E1E3-2	6.61E-04	4.47E-05	6.16E-04	14.79
T41-E1E3	2.41E-04	6.74E-06	2.34E-04	35.73
T42-E1E3	3.02E-03	8.43E-05	2.93E-03	35.80
Среднее значение	3.39E-03	9.67E-05	3.29E-03	32.69

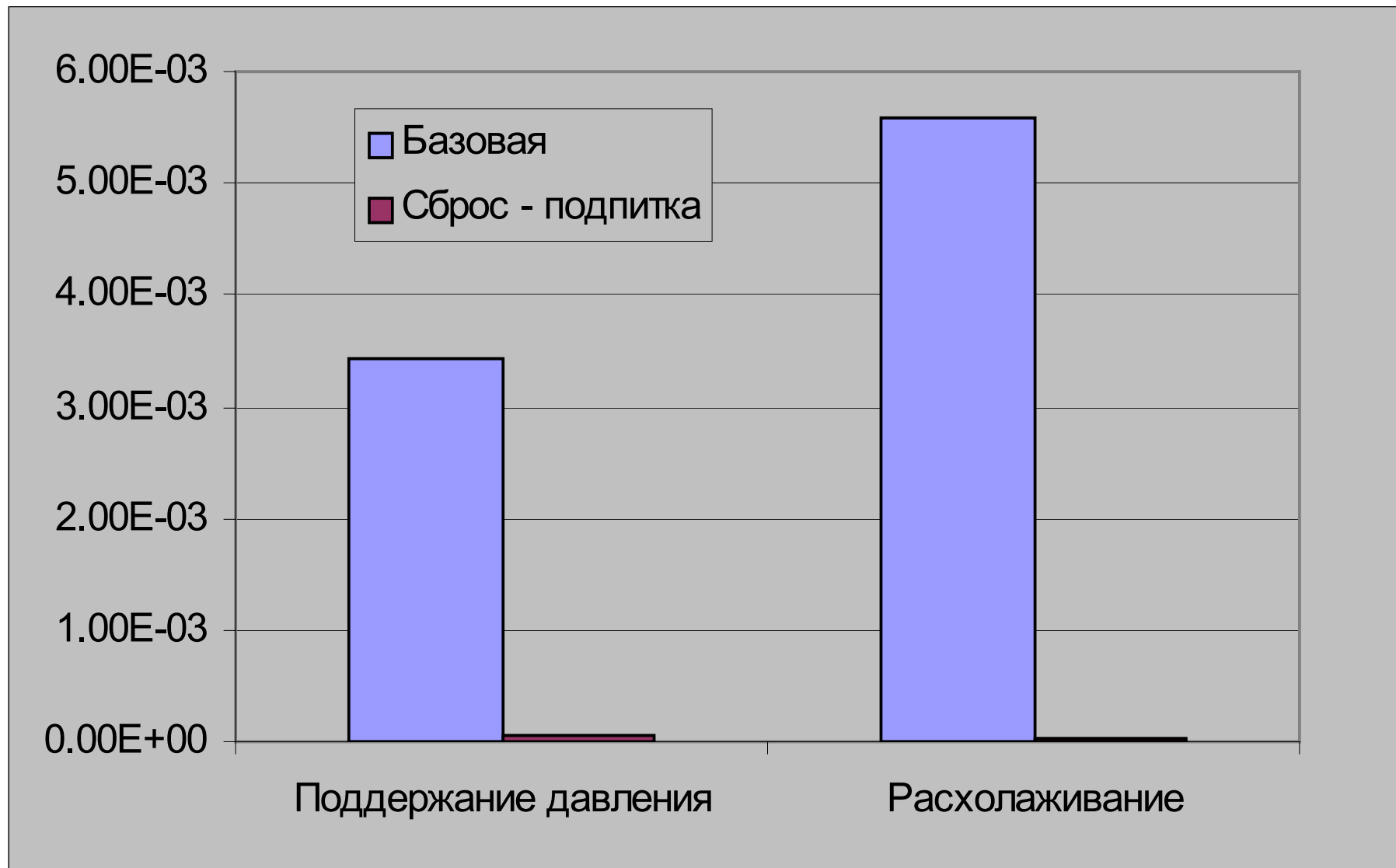


Рис. 6. Среднее изменение функций безопасности «Отвод тепла по второму контуру»

## ДОМИНАНТНЫЕ АВАРИЙНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Результаты сравнения для финальной количественной оценки аварийных последовательностей. В Таблице 6.4 представлены наиболее значимые аварийные последовательности как для базовой модели так и для модели F&V.

Таблица 9 Сравнение доминантных аварийных последовательностей.

№	ИСА	Номер АП	Частота, 1\год		% от ЧПАЗ		Описание аварийных последовательностей
			F&V	Базовая	F&V	Базовая	
1	T61	21	6.29E-06	6.29E-06	27.51	13.91	Отказ функции изоляции ПГ (отказ БЗОК), при наличии отказа – не закрытие БРУ-К после открытия.
2	S4	09	4.16E-06	4.16E-06	18.21	9.20	Отказ функции управления реактивностью и поддержания запаса теплоносителя 1 контура (ввод бора от ТК(ТВ10), TQ13,14)
3	T2	4	1.86E-06	1.86E-06	8.15	4.12	Отказ функции управления давлением первого контура (ПК КД)
4	T31	4-21	1.72E-06	1.72E-06	7.50	3.79	Отказ функции изоляции ПГ (отказ БЗОК), при наличии отказа – не закрытие БРУ-К после открытия.
5	T5	05	1.54E-06	1.54E-06	6.73	3.40	Отказ функции изоляции по пару не аварийных ПГ (отказ БЗОК) при наличии отказа БРУ-К
6	T62	15	9.89E-07	9.89E-07	4.33	2.19	Отказ функции изоляции по пару ПГ (отказ БЗОК)
7	T42	02	7.67E-07	7.67E-07	3.35	1.70	Отказ функции управления реактивностью и поддержания запаса теплоносителя (TQ13)
8	T41	04	7.59E-07	7.59E-07	3.32	1.68	Отказ функции отвода тепла от первого контура по ЛПР, при наличии отказа БЗОК на закрытие аварийного ПГ (отказ изоляции ПГ)
9	S4	10	6.10E-07	6.10E-07	2.67	1.35	Отказ функции управления давлением 1к (YR), при отказе функции управления реактивностью и поддержания запаса теплоносителя 1 контура (ТК(ТВ10), TQ13)
10	T1	05	4.14E-07	3.32E-06	1.81	7.34	Отказ функции обеспечения электроснабжения (отказ восстановления электро-снабжения) при наличии отказа теплоотвода по первому контуру по ЛПР.
11	S2	4	3.10E-07	3.10E-07	1.36	0.69	Отказ функции управления реактивностью и поддержания запаса теплоносителя 1 контура (TQ13)

ИЗМЕНЕНИЯ В МИНИМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЯХ (CUT SETS).

Таблица 10 Изменения в минимальных сечениях

№	Частота, 1/год	Минимальное сечение	
1	7.45E-06	T42, HEP2-EOP-COOLD4	Прим. 1
2	3.66E-06	S4, QFN1D0N-MDP-R-X	
3	2.38E-06	T41, HEP2-EOP-COOLD3	Прим. 1
4	1.85E-06	T2, YP2NS0N-PRV-O-X	
5	1.38E-06	T2, HEP2-EOP-EFWD2	Прим. 1
6	1.33E-06	T1, GW01-DGN-R,GX01 -DGN-R, NPS2-SUP	Прим. 1
7	6.09E-07	S4, CN0N-ACB-F-X	
8	5.77E-07	T41, HEP2-EOP-RHRD3, TX50S06-ISV-E	
9	4.80E-07	S4, QFN1N01-BST-Q-X	
10	4.67E-07	T2, TXNNS0N/2-CTV-C-X	Прим. 1
11	3.69E-07	T61, RC11S02 SDV-E, TX60S06-ISV-E	
12	3.69E-07	T61, RC12S01-SDV-E, TX60S06-ISV-E	
13	3.69E-07	T61, RC12S02 SDV-E, TX60S06-ISV-E	
14	3.69E-07	T61, RC11S04 SDV-E, TX60S06-ISV-E	
15	3.69E-07	T61, RC11S02 SDV-E, TX70S06-ISV-E	
16	3.69E-07	T61, RC12S04 SDV-E, TX70S06-ISV-E	
17	3.69E-07	T61, RC12S02 SDV-E, TX70S06-ISV-E	
18	3.69E-07	T61, RC11S04 SDV-E, TX70S06-ISV-E	
19	3.69E-07	T61, RC11S02 SDV-E, TX50S06-ISV-E	
20	3.69E-07	T61, RC12S04 SDV-E, TX50S06-ISV-E	
21	3.69E-07	T61, RC12S02 SDV-E, TX50S06-ISV-E	
22	3.69E-07	T61, RC11S04 SDV-E, TX50S06-ISV-E	
23	3.69E-07	T61, RC11S04 SDV-E, TX80S06-ISV-E	
24	3.69E-07	T61, RC11S02 SDV-E, TX80S06-ISV-E	
25	3.69E-07	T61, RC12S04 SDV-E, TX80S06-ISV-E	
26	3.69E-07	T61, RC12S02 SDV-E, TX80S06-ISV-E	
27	3.68E-07	T1, GW01-DGN-R, GX01-DGN-S, NPS2-SUP	Прим. 1
28	3.68E-07	T1, GW01-DGN-S, GX01-DGN-R, NPS2-SUP	Прим. 1
29	3.25E-07	T42, TQN3S26-MOV-O-X	
30	2.83E-07	T2, TXN0D01/2-MDP-S-X	Прим. 1
31	2.70E-07	R, <TRUE>	
32	2.61E-07	S4, EE05-DCP-F, HEP2-EOP-EFWD1	Прим. 1
33	2.61E-07	S4, EE06-DCP-F, HEP2-EOP-EFWD1	Прим. 1
34	2.52E-07	T1, HEP2-EOP-COOLD2, NPS2-SUP	Прим. 1
35	2.48E-07	S4, HEP2-EOP-EFWD1, SE52S01-TSV-E	Прим. 1
36	2.48E-07	S4, HEP2-EOP-EFWD1, SE51S01-TSV-E	Прим. 1
37	2.45E-07	T1, HEP2-EOP-RHRD2, NPS2-SUP	
38	2.45E-07	T1, HEP2-EOP-YPYRD1, NPS2-SUP	
39	2.13E-07	T41, QFN1D0N-MDP-R-X	
40	2.09E-07	S4, EQ15-RTF-F, HEP2-EOP-EFWD1	Прим. 1
41	2.09E-07	S4, EQ16-RTF-F, HEP2-EOP-EFWD1	Прим. 1
42	1.98E-07	T42, HEP2-EOP-COOLD4, HEP3-REC-F&B	Прим. 2
43	1.62E-07	T42, HEP2-EOP-COOLD4, TX50S06-ISV-E	Прим. 1
44	1.56E-07	T31, EE05-DCP-F, HEP2-EOP-EFWD2	Прим. 1
45	1.56E-07	T31, EE06-DCP-F, HEP2-EOP-EFWD2	Прим. 1
46	1.49E-07	S3, QFN1D0N-MDP-R-X	
47	1.47E-07	T31, HEP2-EOP-EFWD2, SE52S01-TSV-E	Прим. 1
48	1.47E-07	T31, HEP2-EOP-EFWD2, SE51S01-TSV-E	Прим. 1
49	1.44E-07	T42, HEP2-EOP-RHRD4, TX50S06-ISV-E	
50	1.41E-07	S4, HEP2-EOP-SCRAM, YP2NS0N-PRV-O-X	

Примечание 1: данное минимальное сечение исключено из списка минимальных сечений в результате расчета модели с процедурой «сброс - подпка».

Примечание 2: данное минимальное сечение включено в список минимальных сечений в результате расчета модели с процедурой «сброс - подпитка».

## ВЫВОДЫ

Выполненный анализ показывает, что установка ИПУ КД, соответствующего требованиям, является целесообразной с точки зрения снижения риска. Суммарная ЧПАЗ при этом снижается практически в два раза по сравнению с цифрой, полученной в результате ВАБ блока 5 ЗАЭС для внутренних ИСА, что, в основном, обусловлено возможностью реализации режима “Feed & Bleed” (Сброс - Подпитка), позволяющего успешно реализовать расхолаживание по 1 контуру при аварии с полной потерей питательной воды к ПГ. Следует отметить, что до настоящего времени существующие аварийные инструкции (ИЛА, ЗПА) не предусматривали возможности противодействия или смягчения последствий данной аварии.

Наряду с этим, необходимо отметить следующие положительные факторы, являющиеся важными с точки зрения вероятностной модели и вклада в риск:

% вклад ИСА и ФБ в суммарную ЧПАЗ стал более равномерным, что говорит о достижении адекватности реакции проекта АЭС по отношению к различным авариям и инцидентам;

доминантные АП изменяют не только абсолютную величину и относительный вклад в суммарную ЧПАЗ, но и перераспределяются по местоположению. Например, АП Т1–05 “Отказ функции обеспечения электроснабжения (отказ восстановления электроснабжения) при наличии отказа теплоотвода по первому контуру по ЛПР”, являющаяся третьей по значимости для базовой модели, перемещается на десятое место в модели F&B;

Разница между значимыми значениями ЧПАЗ, полученными из анализа неопределенности, входными данными для которого являются параметры неопределенности всех исходных данных для количественной оценки ЧПАЗ, и точечными значениями ЧПАЗ, полученными при расчете модели на основе тех же исходных данных с теми же параметрами неопределенности, определяется корректностью определения параметров неопределенности исходных данных. Эта разница уменьшается с увеличением количества вкладчиков. Относительная разница между точечным и значимым значениями суммарной ЧПАЗ составляет не более 7%.

Таким образом, вероятностная оценка количественных показателей риска полностью подтверждает необходимость модернизации ИПУ КД энергоблока 5 ЗАЭС согласно предлагаемых технических требований.