

СТАТЬИ

О КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

Ланкин М.Ю., к.т.н. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»)

Для того, чтобы дифференцировать предъявляемые требования к различным элементам АС, в федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии (ФНП) прибегают к классификации (примером тому являются нормативные документы [1–9]). При этом, как правило, используется вертикальная иерархия классов – ранжирование (когда более высокому классу соответствуют более строгие нормативные требования).

Правила назначения классов безопасности элементам АС приведены в Общих положениях обеспечения безопасности АС (ОПБ-88/97) [1]. В зависимости от назначенного в соответствии с [1] класса безопасности устанавливаются, в частности, требования к обеспечению качества элементов АС при их изготовлении и эксплуатации. Согласно [1], класс безопасности является обязательным атрибутом всех других классификаций, используемых в ФНП.

Учитывая центральную роль правил классификации, установленных в [1], рассмотрим их более детально, так как от их полноты и однозначности зависит качество и всех иных содержащихся в ФНП классификаций, а также совершенство нормативных требований в целом.

Классификационные признаки, используемые в ОПБ-88/97

В табл. 1 изложены содержащиеся в [1] правила отнесения элементов АС к тому или иному классу безопасности, а также выделены используемые в этих правилах классификационные признаки.

Таблица 1

Правила классификации элементов АС, установленные в ОПБ-88/97

№ правила	Класс безопасности	Элементы АС, относящиеся к классу безопасности	Используемые классификационные признаки
1	Первый	Твэлы	Элемент АС, образующий физические барьеры (первый и второй)
2		Элементы, отказ которых является исходным событием (ИС) запроектной аварии (ЗПА), приводящим при проектном функционировании систем безопасности к повреждениям твэлов сверх пределов, установленных для проектных аварий	Степень повреждения твэлов (первого и второго физических барьеров) при отказе классифицируемого элемента

№ правила	Класс безопасности	Элементы АС, относящиеся к классу безопасности	Используемые классификационные признаки
3	Второй	Элементы, отказы которых являются ИС, приводящими при проектном функционировании систем безопасности к повреждению твэлов в пределах, установленных для проектных аварий	Степень повреждения твэлов (первого и второго физических барьеров) при отказе классифицируемого элемента
4		Элементы систем безопасности, единичные отказы которых приводят к невыполнению соответствующими системами безопасности своих функций	Снижение защищенности АС от проектных аварий (степень деградации третьего уровня глубокоэшелонированной защиты – ГЭЗ) вследствие отказа классифицируемого элемента
5	Третий	Элементы, отказ которых нарушает нормальную эксплуатацию АС и может при наложении развивающих отказов привести к аварии	Деградация первого уровня ГЭЗ, возникновение необходимости включения в работу систем, относящихся к последующим уровням ГЭЗ, вследствие отказа элемента АС
6		Элементы систем нормальной эксплуатации, отказ которых препятствует устранению нарушений нормальной эксплуатации, способных при наложении развивающих отказов привести к аварии	Снижение готовности АС к реагированию на нарушения нормальной эксплуатации, способное при наложении развивающих отказов привести к аварии (деградация второго уровня ГЭЗ) вследствие отказа элемента АС
7		Элементы систем безопасности	Влияние отказа элемента на готовность АС к проектным авариям (степень деградации третьего уровня ГЭЗ)
8		Элементы, содержащие радиоактивные вещества (РВ), выход которых в окружающую среду (включая производственные помещения АС) при отказах превышает значения, установленные в соответствии с нормами радиационной безопасности	Радиационные последствия отказа элемента АС
9		Элементы, выполняющие контрольные функции радиационной защиты персонала и населения	Участие элемента АС в осуществлении управления нарушениями нормальной эксплуатации, в том числе авариями (второй-пятый уровни ГЭЗ) в части контроля радиационных параметров

№ правила	Класс безопасности	Элементы АС, относящиеся к классу безопасности	Используемые классификационные признаки
10	Четвертый	Элементы, не влияющие на безопасность	Элементы АС не влияют на реализацию ГЭЗ
11		Элементы, используемые для управления авариями	Отказ элемента АС приводит к снижению готовности АС к управлению авариями (к деградации третьего, четвертого или пятого уровней ГЭЗ)

Факт отнесения к первому, второму либо третьему классам безопасности означает предъявление к элементу АС повышенных, по сравнению с общепромышленными, требований. Из табл. 1 следует, что в [1] при назначении элементам АС указанных классов безопасности используются следующие классификационные признаки:

а) факт принадлежности классифицируемого элемента АС к физическому барьеру (для первого и второго барьеров – матрицы и оболочки твэла, для четвертого барьера – герметичного ограждения реакторной установки, поскольку герметичное ограждение является элементом системы безопасности, а принадлежность к таким элементам учитывается в [1] при назначении класса безопасности);

б) степень повреждения (деградации) физических барьеров в случае отказа классифицируемого элемента (в частности, используются две градации степени повреждения твэлов);

в) радиационные последствия отказа элемента АС (одна градация – при выходе РВ в окружающую среду вследствие отказа элемента АС с превышением значений, установленных нормами радиационной безопасности; элемент относится к классу 3);

г) деградация ГЭЗ вследствие отказа элемента АС, не связанная с радиационными последствиями или повреждением физических барьеров; согласно [1], при классификации должны учитываться такие последствия отказа элемента, как: а) частичная или полная утрата работоспособности системами безопасности – данные последствия характеризуют нарушение третьего уровня ГЭЗ; б) возникновение требования на предотвращение дальнейшего развития нарушения нормальной эксплуатации, вызванного отказом классифицируемого элемента (т.е. последствия в виде деградации первого уровня ГЭЗ); в) снижение готовности АС к предотвращению перехода нарушений нормальной эксплуатации в аварию (деградация второго уровня ГЭЗ).

Таким образом, в [1] при назначении класса безопасности используются четыре классификационных признака:

- принадлежность элемента АС к отдельным физическим барьерам;
- степень повреждения физических барьеров вследствие отказа элемента АС;
- влияние отказа элемента на отдельные уровни ГЭЗ (на первый, второй и третий уровни ГЭЗ, а также – только в части контроля радиационной обстановки – на четвертый и пятый уровни);
- радиационные последствия отказа элемента АС.

Полнота классификационных признаков

Достаточно ли выявленных нами четырех классификационных признаков для формирования такой иерархии классов, когда более высокие требования предъявляются к элементам, имеющим большее влияние на безопасность АС?

Чтобы составить мнение по этому вопросу, обратимся к авторитетной международной практике – стандартам МАГАТЭ. В стандарте безопасности МАГАТЭ SSR-2/1 [10] указывается, что классификация узлов АС (конструкций, систем или элементов) устанавливается на основе их значимости для безопасности с учетом таких факторов, как: функция безопасности, которую выполняет данный узел; последствия

отказа узла; вероятность того, что от данного узла потребуется выполнение функции безопасности; время после ИС или период, в течение которого от узла потребуется выполнение функции (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, подлежащие учёту при назначении классов безопасности элементам АС (в соответствии с требованием 22 стандарта МАГАТЭ SSR-2/1 [10])

Рассмотрим, каким образом указанные в [10] четыре фактора учитываются в правилах назначения классов безопасности, установленных в [1].

Типы выполняемых функций безопасности

Следует отметить, что под функциями безопасности в [10] понимаются как функции по предотвращению аварии (в том числе по предотвращению возникновения ИС аварий), так и функции по ограничению или смягчению последствий аварий (проектных и запроектных).

Таким образом, в соответствии с [10], функции безопасности осуществляют все системы (элементы) АС, которые задействованы в реализации ГЭЗ.

Общее представление о соответствии уровней ГЭЗ и функций безопасности даёт табл. 2, которая с небольшими модификациями взята из INSAG-12 [11].

Таблица 2

Глубокоэшелонированная защита АС

Стратегия	Предотвращение аварии		Смягчение аварии			
	Состояние АЭС	Нормальная эксплуатация	Нарушение нормальной эксплуатации, не перешедшее в аварию	Проектные аварии	ЗПА, не перешедшие в тяжёлую стадию	Тяжёлые аварии
Уровень ГЭЗ	Первый	Второй	Третий		Четвертый	Пятый
Цель (функция безопасности)	Предотвращение нарушений нормальной эксплуатации и отказов	Устранение нарушения нормальной эксплуатации, диагностика отказов	Удержание аварии от перехода в тяжёлую стадию		Управление тяжёлой аварией, предотвращение развития аварии, смягчение последствий	Смягчение последствий значительных выбросов РВ
Основные технические средства	Системы нормальной эксплуатации		Системы безопасности		Дополнительные технические средства по управлению авариями	

Выше было установлено, что в [1] при назначении классов безопасности учитываются первый, второй и третий уровни ГЭЗ (кроме того, правилами классификации покрываются четвёртый и пятый уровни ГЭЗ, но только в части элементов систем контроля радиационной обстановки). На языке функций безопасности это означает, что при классификации элементов АС в [1] принимается во внимание выполнение ими следующих функций:

- а) предотвращение нарушений нормальной эксплуатации;
- б) устранение нарушений нормальной эксплуатации, предотвращение их развития в аварии;
- в) функции, выполняемые системами безопасности при проектных авариях (ограничение последствий проектных аварий, удержание их от перехода в запроектные, в том числе в тяжёлые аварии).

Вместе с тем, [1] предписывают относить специальные технические средства по управлению ЗПА к классу 4 (к элементам данного класса не предъявляются требования по обеспечению качества сверх общепромышленных), несмотря на то, что элементы АС, входящие в состав указанных технических средств, также выполняют функции безопасности, а именно функции по управлению ЗПА и ослаблению их последствий. Оправданно ли это? Попробуем дать ответ с детерминистической и вероятностной точек зрения.

Без технических средств по управлению ЗПА могут потерять эффективность четвёртый, пятый (а иногда и третий) уровни ГЭЗ, а следовательно, произойдёт существенная деградация ГЭЗ в целом. То есть, с детерминистической точки зрения, отнесение, согласно [1], средств по управлению авариями к 4 классу безопасности представляется сомнительным. Имеющиеся оценки влияния отказа специальных технических средств по управлению ЗПА на частоту тяжёлой ЗПА для блоков российских АС показывают, что это влияние может быть весьма существенным (частота тяжёлой ЗПА в предположении отказа технических средств по управлению ЗПА может в несколько раз и даже на один-два порядка превосходить частоту тяжёлой ЗПА в предположении работоспособности указанных систем – об этом свидетельствуют, в частности, оценки значимости системы дополнительной подачи питательной воды в парогенераторы с дизель-насосными установками, выполнявшиеся в рамках вероятностных анализов безопасности блоков ВВЭР-440/В-213).

Таким образом, и качественные, и количественные соображения свидетельствуют о значимом влиянии технических средств по управлению ЗПА на безопасность АС. Эту значимость высветила и авария, произошедшая в 2011 г. на АЭС «Фукусима-Дайичи». Поэтому имеющиеся в [1] правила назначения классов безопасности упомянутым техническим средствам требуют, с нашей точки зрения, пересмотра.

В остальном правила классификации элементов АС, содержащиеся в [1], достаточно полно учитывают возможные функции безопасности, выполняемые этими элементами.

Последствия отказа элемента АС выполнять функцию

Последствия отказа классифицируемого элемента выполнять свою функцию следует рассматривать в контексте анализа влияния этого отказа на ГЭЗ. Такое влияние может заключаться либо в радиационных последствиях отказа, либо в негативном воздействии на физические барьеры, либо в не связанном с состоянием барьеров и радиационными последствиями ухудшении ГЭЗ – в снижении готовности АС обеспечивать безопасность (например, отказ системы безопасности снижает готовность АС противостоять аварии, если такая возникнет).

Как мы видели выше, в [1] учитываются все три указанных возможных последствия отказа элемента АС.

Радиационные последствия отказа непосредственно учитываются в [1] только при отнесении к классу 3 элементов АС, содержащих РВ, выход которых в окружающую среду (включая производственные помещения АС) при отказах превышает значения, установленные в соответствии с нормами радиационной безопасности.

Влияние отказов элементов АС на физические барьеры учитывается в классификационных правилах [1] применительно к твэлам (первый и второй физические барьеры), а также к герметичному ограждению (четвёртый физический барьер). Влияние отказа элемента АС на состояние третьего физического барьера – границу контура теплоносителя – правила классификации [1] учитывают опосредованно: поскольку некомпенсируемые течи первого контура являются ИС аварий (проектных или запроектных), элементы первого контура, отказ которых вызывает такие течи, правила относят к классу безопасности 2 или 1.

Выше было установлено, что в правилах классификации элементов АС [1] рассматриваются разнообразные последствия отказа элемента, не являющиеся радиационными, но влияющие на ГЭЗ (в частности, если эти последствия заключаются в неработоспособности системы безопасности, то элемент, в соответствии с [1], относится к классу 2; если – в нарушении нормальной эксплуатации, способном при наложении развивающихся отказов привести к аварии, то элемент следует отнести к классу 3; если отказ препятствует устранению нарушений нормальной эксплуатации, которые способны при наложении развивающихся отказов привести к аварии, то элемент следует отнести к классу 3; отказ элемента безопасности, не вызывающий неработоспособности системы безопасности, – класс 3; отказ элемента, выполняющего функции радиационной защиты, – класс 3).

На рис. 2 показано, как может осуществляться переход между уровнями ГЭЗ в случае возникновения отказов тех или иных элементов АС.

Из анализа представленной на рис. 2 схемы можно сделать вывод (см. табл. 3), что правила отнесения элементов АС к классам безопасности 1, 2, 3 [1] учитывают все возможные переходы между уровнями ГЭЗ вследствие отказов классифицируемых элементов, отмеченные на этой схеме (за исключением переходов, относящихся к управлению ЗПА, – об этой проблеме сказано выше), то есть являются достаточно полными.

Таблица 3

Соответствие правил классификации элементов АС и переходов между уровнями глубокоэшелонированной защиты

№ правила классификации элементов АС (в соответствии с табл. 1)	Переход между уровнями ГЭЗ при отказе классифицируемого элемента АС (в соответствии с рис. 2)
1	А, Б или В
2	В
3	Б
4	Д
5	А
6	Г (непосредственно или при наличии дополнительных отказов)
7	Д (при нескольких отказах)
8	А, Б или В
9	все переходы (при наличии дополнительных отказов)
10	нет
11	Д или Е

Вместе с тем, по используемым в правилах классификации [1] алгоритмам учёта последствий отказа выполнять функцию можно сделать следующие наблюдения.

а) Используемый в [1] алгоритм отнесения элементов систем безопасности к классам 2 или 3 допускает следующее буквальное понимание: если отказ элемента вызывает отказ системы безопасности, в которую он входит, то рассматриваемый элемент относится к классу 2. В таком виде данный алгоритм не устойчив к формальным изменениям. Допустим, мы имеем четырёхканальную систему безопасности, каждый канал которой имеет производительность 50% (таким образом, для успешного функционирования системы требуется работа, по меньшей мере, двух каналов из четырёх). Если мы, ничего не меняя на АС, скажем, что у нас с завтрашнего дня на ней имеется не одна четырёхканальная система, а две двухканальные, то многие элементы этих двух систем изменят класс безопасности с 3 на 2. Данный эффект является следствием неучёта того обстоятельства, что для выполнения одной и той же функции безопасности может иметься несколько резервирующих друг друга систем безопасности (в частности, блоки ВВЭР-440/В-213 имеют две двухканальные идентичные по выполняемым функциям безопасности системы – аварийной питательной воды и дополнительной аварийной питательной воды).

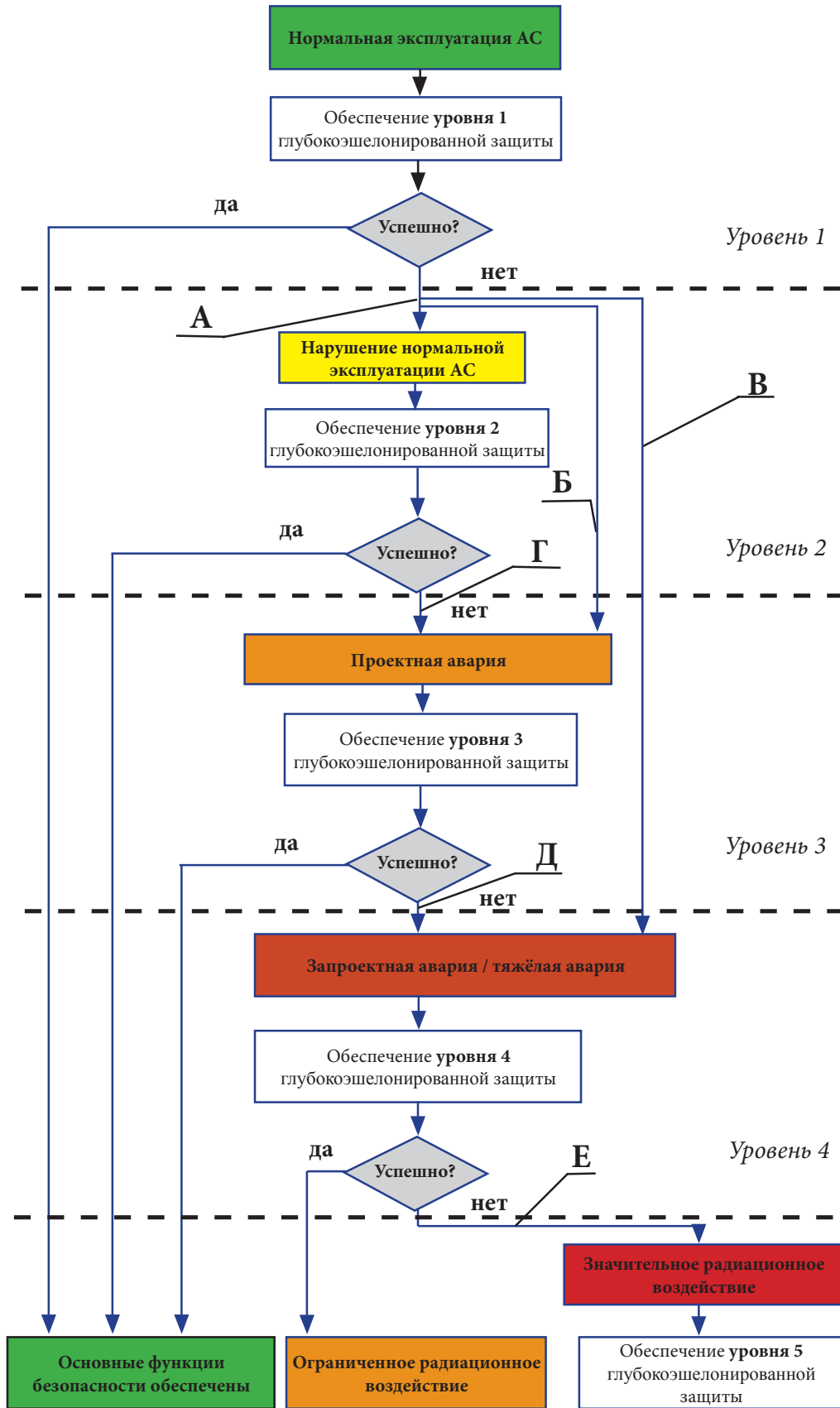


Рис. 2. Переходы между уровнями глубокоэшелонированной защиты АС

Более последовательным представлялось бы отнесение элементов систем безопасности к разным классам с использованием в качестве критерия тяжесть наступающих последствий вследствие отказа классифицируемого элемента при возникновении ИС проектной аварии (например, относить к более низкому классу элементы систем безопасности, отказ которых, налагаемый на ИС проектной аварии, не приводит к превышению установленных для таких аварий пределов, а к более высокому классу – элементы, отказ которых в таких ситуациях приводит к превышению проектных пределов для проектных аварий).

б) Использованная в [1] формулировка «к классу безопасности 3 относятся элементы систем, важных для безопасности, не вошедшие в классы безопасности 1 и 2» неудачна. Смысл, по всей видимости, вкладывался такой: элементы, важные для безопасности, не относящиеся к классам 1 и 2, должны относиться к классу 3. Получилось же несколько другое: буквальная интерпретация представленной в [1] формулировки приводит к выводу, что в составе систем, важных для безопасности, могут быть только элементы классов 1, 2, 3, несмотря на то, что ряд элементов этих систем может нести вспомогательную, не связанную с обеспечением безопасности АС функцию (например валоповоротное устройство турбины, никак не задействованное при работе турбины на мощности – режиме, когда турбина способна повлиять на безопасность блока АС). Формулировку требуется уточнить.

в) При назначении класса безопасности 3 по признаку радиационных последствий отказа элемента не уточнено, какие именно значения, установленные в соответствии с НРБ-99/2009 [12] либо СП АС-03 [13], должны быть превышены (допустимые выбросы/сбросы – ДВ/ДС, предельно допустимые выбросы/сбросы – ПДВ/ПДС либо какие-то иные). Требуется внести ясность в данный вопрос.

г) В современной практике выполнения обоснований безопасности (что соответствует требованиям, в частности п. 2.1.8 НП-082-07 [14]) для проектных аварий проектные пределы, в том числе проектные пределы повреждения твэлов, могут назначаться дифференцированно, например в зависимости от частоты ИС аварии (более частым ИС могут назначаться более строгие пределы, авариям с меньшей частотой реализации – менее строгие пределы). В этой ситуации возникает затруднение в интерпретации классификационных правил [1]: встаёт вопрос – с каким проектным пределом следует сравнивать последствия отказа элемента при решении вопроса о его отнесении к классам 1 и 2. Формулировки правил отнесения к классам безопасности в этой части желательно уточнить (например указав, что к классу 1 относятся элементы, отказ которых приводит при проектном функционировании систем безопасности к превышению максимального проектного предела, а к классу 2 – элементы, отказ которых к превышению максимального проектного предела не приводит).

д) В настоящее время большие дискуссии вызывают вопросы отнесения элементов нормальной эксплуатации, отказ которых не является ИС аварии, к 3 или 4 классу (в частности, такая полемика ведется относительно элементов паротурбинной установки). Ответ на этот вопрос действующие правила ставят в зависимость от того, является ли классифицируемый элемент важным для безопасности или нет. В соответствии с определением 58 [1], элементами, важными для безопасности, являются элементы безопасности, а также элементы нормальной эксплуатации, отказы которых нарушают нормальную эксплуатацию АС или препятствуют устранению отклонений от нормальной эксплуатации и могут приводить к проектным и запроектным авариям.

Споры ведутся вокруг интерпретации оборота «может приводить». В комментариях [15] указывается, что необходимым и достаточным признаком важности элемента для безопасности является возможность формирования цепочки, ведущей от отказа этого элемента посредством развивающихся отказов других элементов (например элементов управляющих систем нормальной эксплуатации или управляющих систем безопасности) к аварии, в частности, если отказ и/или неправильное функционирование элемента напрямую или посредством развивающихся отказов других элементов приводит к необходимости экстренного ограничения мощности реактора или срабатыванию защит, то такой элемент является важным для безопасности.

По нашему мнению, такому разъяснению, наверное, место всё-таки в правилах, а не в комментариях, поскольку от интерпретации этого оборота зависит принятие или непринятие дорогостоящих решений по обеспечению безопасности АС. Кроме того, необходимо определить термин «развивающийся отказ», используемый при трактовке понятия «может приводить к авариям».

***Вероятность того, что потребуется выполнение
функции безопасности. Время, через которое после исходного события
от элемента потребуется выполнение функции***

В [1] при классификации элементов АС не используются такие рекомендуемые стандартом безопасности МАГАТЭ классификационные признаки как «вероятность того, что потребуется выполнение функции», а также «время, через которое после исходного события потребуется выполнять функцию».

Наряду с этим, влияние на безопасность АС классифицируемого элемента может значительно зависеть от этих признаков. Например, цепочка последующих отказов, связывающих событие отказа классифицируемого элемента и аварию (об этой цепочке мы упоминали чуть выше), может быть разной длины и иметь существенно разную вероятность реализации. Неучёт данного обстоятельства и принятие во внимание лишь самой возможности выстраивания такой цепочки отказов, ведущей к аварии, представляется достаточно искусственным подходом при отнесении элементов АС к 3 классу безопасности.

Другой пример – к техническим средствам, которые необходимо задействовать для обеспечения функций безопасности в течение короткого срока после возникновения ИС (когда возможность восстановления отказавших элементов, а также возможность получения атомной станцией помощи извне ограничена), разумно предъявлять более строгие требования (относить к более высокому классу безопасности), чем к техническим средствам, задействование которых станет необходимым по истечении значимого времени (например сутки или несколько) после ИС.

Использование данных классификационных признаков, как представляется, является мощным ресурсом для придания имеющейся нормативной классификации [1] необходимой полноты учёта влияния элементов на безопасность АС. Но это пока непривычно для российских специалистов и требует предварительной дискуссии.

***Предложения по модернизации правил назначения классов
безопасности элементам АС***

По результатам представленного выше анализа правил классификации [1] следует заключить, что они, в основном, удовлетворительно выполняют своё назначение – построение дифференцированного подхода к обеспечению качества элементов АС в зависимости от влияния этих элементов на безопасность АС. Вместе с тем, очевидна необходимость доработки и уточнения правил отнесения элементов к классам безопасности. В табл. 4 и 5 представлено наше видение обновлённых принципов классификации элементов АС. Табл. 4 является основной (базирующейся на детерминистических критериях, как это следует из требования 22 стандарта безопасности SSR-2/1 [10]), а табл. 5 – уточняющей, использующей вероятностные оценки (их использование в качестве вспомогательных критериев также оговорено в стандарте SSR-2/1 [10]).

Какие преимущества предлагаемых принципов классификации мы видим?

1. Новые принципы являются эволюционным развитием содержащихся в действующих ОПБ-88/97 [1] правил классификации, уже несколько десятилетий используемых атомной отраслью.

2. Для элементов АС, выполняющих функции предотвращения нарушений нормальной эксплуатации (т.е. для элементов нормальной эксплуатации), класс безопасности, как и в имеющихся в [1] правилах классификации, предлагается назначать в зависимости от тяжести последствий отказа элемента. Однако в новых принципах уточнено, что границей между первым и вторым классами безопасности при определении тяжести последствий является максимальный проектный предел повреждения твэлов (таким образом, снимается имеющаяся неопределённость относительно пограничного значения степени повреждения твэлов, при превышении которой элемент должен относиться к первому классу безопасности).

Кроме того, в новых принципах учитывается то обстоятельство, что радиационные последствия на местности (в том числе значительные), могут возникать и при отсутствии повреждений твэлов (например при аварии в системе хранения и переработки РАО), в связи с чем предложено в качестве дополнительных критериев, характеризующих тяжесть последствий отказа классифицируемого элемента, использовать установленные в НРБ-99/2009 [12] уровни «А» и «Б» принятия неотложных решений по радиационным параметрам (если отказ элемента АС приводит к достижению уровня «Б», то такой элемент относится к

1 классу безопасности, если при отказе элемента превышает уровень «А», то элементу назначается 2 класс безопасности). Здесь уместно упомянуть аналогии – возможность отнесения элементов объектов использования атомной энергии к 1 и 2 классам безопасности при отсутствии повреждений твэлов предусмотрена, например, Общими положениями обеспечения безопасности предприятий ядерного топливного цикла [16] и Общими положениями обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок [17].

Таблица 4

Основная таблица определения класса безопасности ¹

Элементы систем нормальной эксплуатации	Тяжесть последствий отказа классифицируемого элемента			
	Неприемлемая ² Класс 1	Высокая ³ Класс 2	Средняя ⁴ Класс 3	Низкая ⁵ Класс - в соответствии с табл. 5
Элементы систем безопасности	Тяжесть последствий при отказе классифицируемого элемента при возникновении ИС проектной аварии			
	Превышаются проектные пределы при проектных авариях Класс 2		Не превышаются проектные пределы при проектных авариях Класс 3	
Элементы, используемые при управлении ЗПА, входящими в окончательный перечень ЗПА	Время после ИС, по истечении которого необходима работа классифицируемого элемента			
	Менее 3 суток Класс 3		Более 3 суток Класс 4	

¹ Если элемент АС относится к нескольким из следующих категорий: «элемент нормальной эксплуатации», «элемент системы безопасности», «элемент, используемый при управлении ЗПА», то его класс безопасности определяется как максимальный из назначенных в соответствии с табл. 4.

² При проектном функционировании систем безопасности с учётом нормируемого количества отказов в них превышает максимальный проектный предел повреждения твэлов либо превышает установленный НРБ-99/2009 [12] уровень «Б» критериев для принятия неотложных решений по эвакуации в начальный период аварии.

³ Ограничена (при проектном функционировании систем безопасности с учётом нормируемого количества отказов) максимальным проектным пределом повреждения твэлов, а также установленным НРБ-99/2009 [12] уровнем «А» критериев для принятия неотложных решений по эвакуации в начальный период аварии (в последнем случае должны превышать установленные в соответствии с СП АС-03 [13] значения ПДВ или ПДС либо предельные уровни загрязнённости производственных помещений АС).

⁴ Радиационные последствия на местности ограничены значениями ПДВ и ПДС, установленными в соответствии с СП АС-03 [13].

⁵ Не превышаются ДВ и ДС, установленные в соответствии с СП АС-03 [13].

Уточняющая таблица определения класса безопасности

Элементы, отказ которых не нарушает нормальную эксплуатацию АС и не препятствует устранению нарушения нормальной эксплуатации АС	Класс 4		
Элементы, отказ которых нарушает нормальную эксплуатацию АС ¹	Произведение вероятности возникновения отказа классифицируемого элемента и условной вероятности невозвращения блока АС к нормальной эксплуатации Высокое <i>(более 10⁻² 1/год)</i> или произведение вероятности возникновения отказа классифицируемого элемента и условной вероятности перехода отказа элемента АС в тяжёлую аварию Значительное <i>(более 10⁻⁶ 1/год)</i>	Произведение вероятности возникновения отказа классифицируемого элемента и условной вероятности невозвращения блока АС к нормальной эксплуатации Низкое <i>(менее 10⁻² 1/год)</i> и произведение вероятности возникновения отказа классифицируемого элемента и условной вероятности перехода отказа элемента АС в тяжёлую аварию Незначительное <i>(менее 10⁻⁶ 1/год)</i>	
	Класс 3	Отказ вызывает нарушение целостности физических барьеров	Отказ не вызывает нарушения целостности физических барьеров
	Класс 3	Класс 3	Класс 4
Элементы, отказ которых препятствует устранению нарушения нормальной эксплуатации АС ¹	Произведение вероятности возникновения нарушения нормальной эксплуатации, требующего работы классифицируемого элемента, и условной вероятности невозвращения блока АС к нормальной эксплуатации		
	Высокое <i>(более 10⁻² 1/год)</i> Класс 3	Низкое <i>(менее 10⁻² 1/год)</i> Класс 4	

¹ При отсутствии возможности выполнить оценку вероятностных параметров в соответствии с табл. 5 элемент АС должен быть отнесён к классу безопасности 3.

К 3 классу безопасности, в соответствии с новыми классификационными принципами, предлагается относить элементы, отказ которых приводит к превышению значений ДВ (ДС), но при этом не превышаются значения ПДВ (ПДС). Тем самым устраняется имеющаяся в [1] неопределённость относительно уровня радиационных последствий, превышение которого при отказе элемента свидетельствует о необходимости его отнесения к 3 классу. Таким образом, в соответствии с предлагаемыми правилами классификации, элементы нормальной эксплуатации будут относиться к одному из четырёх классов безопасности в зависимости от степени повреждения твэлов, а также значительности радиационных последствий, вызываемых отказом классифицируемого элемента, – обеспечивается чёткое ранжирование элементов АС в соответствии со значимостью для безопасности последствий отказа элемента.

3. Отнесение элементов безопасности к классу безопасности 2 или 3 в предлагаемой классификации выполняется в зависимости от тяжести последствий, которые наступают в случае возникновения ИС проектной аварии при наложении отказа классифицируемого элемента (сверх единичного отказа в системах безопасности). Если отказ классифицируемого элемента таков, что при его наступлении АС не в состоянии обеспечить ограничение последствий проектных аварий соответствующими пределами, то такому элементу назначается класс 2, в противном случае (что свидетельствует о меньшем влиянии на безопасность АС отказа классифицируемого элемента) – класс 3. Таким образом, класс элементам систем безопасности будет назначаться в соответствии со степенью их влияния на способность АС к выполнению необходимых функций безопасности при проектных авариях (отмеченная ранее неустойчивость назначаемого класса к изменениям границ между системами безопасности при принятии новых правил классификации исчезает).

4. Отнесение к классу 3 или 4 элемента АС нормальной эксплуатации, отказ которого непосредственно не имеет радиационных последствий и не вызывает ИС аварий, в новых правилах классификации поставлено в зависимость от трёх факторов:

- вероятности того, что отказ классифицируемого элемента приведёт к аварии;
- условной вероятности того, что при отказе элемента блок АС возвратится к нормальной эксплуатации (к состоянию нормальной эксплуатации, предшествовавшему отказу, или к иному состоянию нормальной эксплуатации);
- непосредственного влияния отказа элемента АС на целостность физических барьеров.

В тех случаях, когда вероятность невозвращения блока АС к нормальной эксплуатации после отказа низкая и, вместе с тем, вероятность перехода отказа классифицируемого элемента в тяжёлую аварию невысокая, а также отсутствует нарушение целостности физических барьеров вследствие отказа рассматриваемого элемента, влияние такого элемента на безопасность АС можно расценить как незначительное и отнести его к классу 4. В противном случае, а также в ситуации, когда проектант не в состоянии в силу тех или иных причин выполнить оценки упомянутых вероятностных величин, элемент АС должен быть отнесён (как и в действующей классификации [1]) к классу безопасности 3.

Таким образом, к классу безопасности 3 будут относиться только элементы АС, способные оказать такое влияние на первый или второй уровень ГЭЗ, которым пренебречь нельзя. Данный подход указывает проектантам путь, которым можно воспользоваться для обоснования низкого влияния отдельных элементов нормальной эксплуатации на безопасность АС и отнесения их по результатам такого обоснования к классу 4. Предлагаемый подход избавляет от дискуссий на тему, что означает оборот «может привести к авариям» в определении понятия «элемент, важный для безопасности», содержащегося в [1], устанавливая количественные критерии «важности для безопасности» элемента нормальной эксплуатации АС.

Численные значения величин, указанные в табл. 5, предложены исходя из следующих соображений. Вероятность тяжёлой аварии, меньшая 10^{-6} 1/год, является величиной крайне малой (на порядок меньшей целевого ориентира по вероятности такой аварии, установленного в п. 4.2.2 [1]), вследствие чего полагается, что влиянием на безопасность АС элемента, отказ которого может привести к тяжёлой аварии с вероятностью, не превышающей указанную, можно пренебречь. Вторым необходимым условием отнесения элемента АС к классу 4 является высокая вероятность того, что АС после отказа классифицируемого элемента вернётся к нормальной эксплуатации. При выборе граничного значения (10^{-2} 1/год) полагалось, что влиянием на безопасность АС отказа можно пренебречь, если за срок службы АС невозвращения АС к нормальной эксплуатации вследствие отказа рассматриваемого элемента, в среднем, ожидать не следует.

Приводимые численные значения могут быть уточнены специалистами в процессе обсуждения предлагаемых принципов классификации.

5. Предлагаемые принципы классификации повышают требования к техническим средствам по управлению ЗПА, предусмотренным на АС, по сравнению с подходом [1], в соответствии с которым эти средства относятся к классу безопасности 4. Новый подход представляется оправданным, так как надёжность функционирования указанных средств по управлению ЗПА может, как было отмечено выше, оказывать значимое влияние на обеспечение безопасности АС. Для технических средств, функционирование которых необходимо в течение первых трёх суток после ИС (здесь предполагалось, что в течение этого времени возможности восстановления отказавшего оборудования на АС, как и получения помощи атомной станцией извне, невелики – соответственно выше влияние на безопасность АС технических средств по управлению авариями, которые должны быть при этом задействованы), предлагается назначать класс безопасности 3. Иные технические средства по управлению ЗПА предлагается относить, как и в [1], к 4 классу безопасности, так как эти средства требуются в ситуации, когда полностью развёрнуты силы и средства реагирования на аварию и отказавшее оборудование по управлению ЗПА может, как правило, при необходимости быть заменено другим.

Таким образом, предлагаемые в настоящей статье принципы классификации элементов АС позволяют выстроить систему ранжирования элементов АС, учитывающую достаточно полно учтены в соответствии с положениями стандарта МАГАТЭ [10] различные аспекты, связанные с влиянием, которое элементы АС оказывают на безопасность АС. В частности, предлагаемые принципы учитывают: тип функции безопасности, которую выполняет классифицируемый элемент; последствия отказа элемента для состояния ГЭС, физических барьеров и радиационной обстановки; вероятность, с которой от классифицируемого элемента требуется выполнение функции безопасности; временной запас между нарушением нормальной эксплуатации АС и моментом, когда потребуется функционирование элемента АС. В предлагаемых принципах классификации также устранены выявленные и описанные в настоящей статье неопределённости и «узкие» места, с которыми можно столкнуться при назначении классов безопасности в соответствии с [1].

Литература

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. -М.; 1997.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-008-89. -М.; 1989.
3. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. -М.; 2001.
4. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. ПиН АЭ-5.6. -М.; 1986.
5. Общие положения по устройству и эксплуатации систем аварийного электроснабжения атомных станций. ПНАЭ Г-9-026-90. -М.; 1990.
6. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. НП-026-04. -М.; 2004.
7. Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования. НП-068-05. -М.; 2005.
8. Требования к устройству и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов для объектов использования атомной энергии. НП-043-03. -М.; 2003.
9. Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии. НП-061-05. -М.; 2005.
10. Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series SSR-2/1, IAEA, Vienna, 2012.
11. INSAG-12. Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants. 75-INSAG-3. Rev.1. A Report by the International Nuclear Safety Advisory Group, Vienna, 1999.
12. Нормы радиационной безопасности. НРБ–99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. -М.; 2009.
13. Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПиН 2.6.1.24-03 «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)». -М.; 2003.
14. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. НП-082-07. -М.; 2007.
15. Комментарий к общим положениям обеспечения безопасности атомных станций. ОПБ-88/97. -М.; 2004.
16. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ) НП-016-05. -М.; 2005.
17. Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок. НП-033-11. -М.; 2011.