

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ
И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)

Федеральное бюджетное учреждение
«Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
ФБУ «НТЦ ЯРБ»

И. П. Соколов, А. В. Понизов, Р. Б. Шарафутдинов

**ВВЕДЕНИЕ В КОНЦЕПЦИЮ ПРЕДЕЛОВ БЕЗОПАСНОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО
ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

Часть 1. Концептуальные положения нормативных документов

Труды «НТЦ ЯРБ»

Москва, 2024

УДК 621.039

ББК 31.4

С 59

Соколов И. П., Понизов А. В., Шарафутдинов Р. Б. **Введение в концепцию пределов безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла. Часть 1. Концептуальные положения нормативных документов** / Труды «НТЦ ЯРБ». – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2024. – 119 с.: ил.

Рецензент: доктор технических наук Д. М. Рогатов

В книге изложены результаты сравнительного анализа концепции пределов безопасной эксплуатации, принятой Международным агентством по атомной энергии, для атомных электростанций и концептуальных положений, относящихся к пределам безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла, приведенных в нормативных документах Российской Федерации. Рассмотрены структура концепции, особенности определений, понятия рамок и эквивалента пределов безопасной эксплуатации.

Книга предназначена для научно-технической поддержки специалистов по надзору за ядерной и радиационной безопасностью, а также для специалистов, обеспечивающих безопасность объектов ядерного топливного цикла, студентов и аспирантов, изучающих вопросы, относящиеся к безопасности объектов ядерного топливного цикла.

УДК 621.039

ББК 31.4

ISBN 978-5-907011-57-1

© ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2024

Содержание

Список сокращений	5
Введение	7
Глава 1. Исходные понятия.....	8
1.1. Краткое содержание понятия объектов ядерного топливного цикла	8
1.1.1. <i>Определение объектов ядерного топливного цикла</i>	<i>8</i>
1.1.2. <i>Специфика объектов ядерного топливного цикла.....</i>	<i>12</i>
1.2. Содержание понятия «концепция»	16
1.2.1. <i>Общепотребительное значение термина.....</i>	<i>16</i>
1.2.2. <i>Трактовки понятия концепции в нормативных документах по ядерной и радиационной безопасности.....</i>	<i>17</i>
Глава 2. Концепция пределов безопасной эксплуатации для атомных электростанций, принятая Международным агентством по атомной энергии	21
2.1. Определение пределов безопасной эксплуатации.....	21
2.1.1. <i>Содержание определения.....</i>	<i>21</i>
2.1.2. <i>Интерпретация понятия рамок пределов безопасной эксплуатации</i>	<i>26</i>
2.1.3. <i>Внутренняя структура рамок пределов безопасной эксплуатации</i>	<i>30</i>
2.1.4. <i>Интерпретация понятия эквивалента пределов безопасной эксплуатации</i>	<i>39</i>
2.2. Содержание концепции пределов безопасной эксплуатации для атомных электростанций	45
2.2.1. <i>Основа концепции.....</i>	<i>45</i>
2.2.2. <i>Поясняющие положения концепции пределов безопасной эксплуатации</i>	<i>50</i>
2.3. Содержание положений концепции пределов и условий эксплуатации.....	52
2.3.1. <i>Общие признаки пределов и условий эксплуатации и пределов безопасной эксплуатации.....</i>	<i>52</i>
2.3.2. <i>Особенности разработки пределов и условий эксплуатации и пределов безопасной эксплуатации</i>	<i>55</i>

2.4. Обобщенная структура концепции пределов безопасной эксплуатации, принятой Международным агентством по атомной энергии	57
2.5. Применение концепции пределов безопасной эксплуатации для установок ядерного топливного цикла.....	66
Глава 3. Содержание понятия пределов безопасной эксплуатации в нормативных документах Российской Федерации.....	71
3.1. Определение пределов безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла.....	71
3.2. Нормативные требования, относящиеся к пределам безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла	75
3.3. Взаимосвязь понятий пределов безопасной эксплуатации и аварии на объектах ядерного топливного цикла.....	80
3.4. Понятие безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла.....	86
3.5. Комментарии к понятию пределов безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла	97
3.6. Сопоставление определений пределов безопасной эксплуатации для объектов ядерного топливного цикла и атомных электростанций	103
3.7. Возможности применения концепции пределов безопасной эксплуатации Международным агентством по атомной энергии для объектов ядерного топливного цикла	109
Список литературы.....	115

Список сокращений

АС	– атомная станция
АЯЭ ОЭСР	– Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и
ИИ	развития – ионизирующее излучение
МАГАТЭ	– Международное агентство по атомной энергии
МД	– максимальная доза облучения
МОКС-	– смешанное оксидное уран-плутониевое топливо
топливо ОИАЭ	– объект использования атомной энергии
ООБ	– отчет по обоснованию безопасности
ОЯТ	– отработавшее ядерное топливо
ОЯТЦ	– объект ядерного топливного цикла
ПАС	– противоаварийное состояние
ПБЭ	– предел безопасной эксплуатации
ПБЭР	– предел безопасной эксплуатации по радиационному параметру
ПБЭТ	– предел безопасной эксплуатации по технологическому параметру
ПВОВ	– пожаровзрывоопасное вещество
ПВХ	– пункт временного хранения
ПД	– предел дозы облучения
ПГЗ ЖРО	– пункт глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов
ПЗРО	– пункт захоронения радиоактивных отходов
ППА	– предел проектной аварии
ПУЭ	– пределы и условия эксплуатации

Список сокращений

ПХ	– пункт хранения
РАО	– радиоактивные отходы
РВ	– радиоактивное вещество
РИ	– радиационный источник
РФ	– Российская Федерация
СБ	– система безопасности
СВБ	– система, важная для безопасности
СЦР	– самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция деления
ФНП	– федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии
ЭП	– эксплуатационный предел
ЯДМ (В, Н)	– ядерный делящийся материал (вещество, нуклид)
ЯМ	– ядерный материал
ЯРБ	– ядерная и радиационная безопасность
ЯТЦ	– ядерный топливный цикл
ЯУ	– ядерная установка
ЯЭУ	– ядерная энергетическая установка

Введение

При обосновании и обеспечении ЯРБ ОЯТЦ исключительно важное значение имеет установление и соблюдение ПБЭ. Для выполнения требований, относящихся к установлению и соблюдению ПБЭ, необходимо исходить из содержания этого понятия в соответствии с принятой для его применения концепцией. Эти обстоятельства обуславливают потребность в ознакомлении с современной концепцией ПБЭ ОЯТЦ.

К сожалению, в обобщенном и систематизированном виде концепция ПБЭ ОЯТЦ не сформулирована ни в нормативных документах РФ, ни в нормах безопасности МАГАТЭ. Вместе с тем представление об этой концепции можно составить на основании ознакомления со структурой, опубликованной МАГАТЭ [1] концепции ПБЭ для АС, и рассмотрения понятийного содержания системы требований нормативных документов РФ, относящихся к ПБЭ ОЯТЦ.

Целью написания данной книги как раз и было наиболее полное изложение различных аспектов понятия ПБЭ ОЯТЦ, раскрываемых в указанных выше источниках. В первой части книги представлены приводимые в нормативных документах концептуальные положения, относящиеся к ПБЭ ОЯТЦ. Далее предполагается рассмотреть характеристики ПБЭ ОЯТЦ и обозначить основные контуры концепции ПБЭ ОЯТЦ.

Очевидно, что, по мере актуализации нормативных документов, может происходить совершенствование концептуальных положений или возникнуть новая концепция ПБЭ ОЯТЦ. Поэтому авторы отдают себе отчет в том, что в данной книге речь может идти только о существующем состоянии данной концепции. Однако авторы также полагают, что зафиксированное на настоящий момент содержание понятия ПБЭ ОЯТЦ достаточно обоснованно, чтобы послужить основой для разработки единой концепции, учитывающей особенности обеспечения безопасности ОЯТЦ.

Авторы надеются, что данная книга может быть полезна работникам Ростехнадзора – уполномоченного органа регулирования безопасности при использовании атомной энергии; проектировщикам и ответственному персоналу ОЯТЦ; научным сотрудникам, преподавателям, аспирантам и студентам, которые интересуются вопросами обеспечения безопасности ОЯТЦ. Авторы с благодарностью примут все пожелания и замечания от читателей этой книги.

Глава 1. Исходные понятия

Содержание словосочетания «*концепция ПБЭ ОЯТЦ*» включает понятия трех взаимосвязанных составляющих:

- понятия термина «*концепция*»;
- понятия составного термина «*пределы безопасной эксплуатации*»;
- понятия составного термина «*объекты ядерного топливного цикла*».

Поэтому, прежде чем рассматривать понятие ПБЭ, следует в начале определиться с применяемыми далее значениями терминов «*концепция*» и «*объекты ядерного топливного цикла*».

При ознакомлении с понятиями этих терминов исходили из того, чтобы принимаемое во внимание содержание этих понятий по объему было соразмерно поставленной выше задаче.

Поскольку полная характеристика ОЯТЦ на данном этапе рассмотрения не представляется необходимой, здесь можно ограничиться лишь выяснением следующих вопросов:

- что общего между различными ОЯТЦ с точки зрения применения единого подхода к установлению для них ПБЭ?
- существуют ли такие различия между ОЯТЦ и блоком АС, согласно которым для них нельзя применять единый подход к установлению ПБЭ?

Что касается понятия термина «*концепция*», то здесь следует определиться по следующим пунктам:

- каково общеупотребительное значение этого термина?
- существует ли различие в употреблении этого термина в нормативных документах по обеспечению безопасности ОЯТЦ по сравнению с его общеупотребительным значением?

Рассмотрению данных вопросов и посвящено содержание первой главы.

1.1. Краткое содержание понятия объектов ядерного топливного цикла

1.1.1. Определение объектов ядерного топливного цикла

Согласно «Общим положениям обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла» [2] к ОЯТЦ относятся четыре типа объектов, определения которых, данные в [2], приведены в табл. № 1.

Если абстрагироваться от выяснения точности определений, приведенных в табл. № 1, то можно отметить, что все типы ОЯТЦ имеют общий признак: они представляют радиационную опасность вследствие

того, что в их оборудовании содержатся РВ того или иного вида, а именно: ЯМ и другие РВ, РАО.

Таблица № 1

Определения типов объектов ядерного топливного цикла [2]

№	Формулировка
1	<i>Ядерные установки – сооружения, комплексы, установки с ядерными материалами (за исключением промышленных реакторов, исследовательских ядерных установок, критических или подкритических стенов, объектов добычи урановых руд), предназначенные для производства, транспортирования, переработки ядерного топлива и ядерных материалов (включая гидрометаллургическую переработку урановых руд в части получения оксидных концентратов природного урана, сублиматное производство, металлургическое производство, разделение изотопов урана, радиохимическую переработку ядерного топлива и ядерных материалов, конверсию оружейных материалов (урана и плутония), изготовление смешанного оксидного и других видов уран-плутониевого топлива, обращение с образующимися при этом радиоактивными отходами)</i>
2	<i>Радиационные источники – не относящиеся к ядерным установкам сооружения, комплексы и установки, в которых содержатся радиоактивные вещества и (или) радиоактивные отходы, расположенные на территории ядерной установки и не предусмотренные в проекте ядерной установки</i>
3	<i>Пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов – не относящиеся к ядерным установкам и радиационным источникам стационарные объекты и сооружения, предназначенные для хранения ядерных материалов, радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, включая объекты и сооружения, расположенные на территории ядерной установки и не предусмотренные в проекте ядерной установки</i>
4	<i>Пункты захоронения радиоактивных отходов – стационарные объекты и сооружения, предназначенные для захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО, ПГЗ ЖРО)</i>

Поскольку указанные разновидности веществ могут представлять разный тип опасности (ядерную и собственно радиационную), следует остановиться на их основных отличительных особенностях.

Определения, относящиеся к разновидностям РВ, приведены в табл. № 2. Все эти разновидности, попадающие под указанные определения нормативных документов, характеризуются тем, что они испускают ИИ (или способны наряду с этим дополнительно испускать ИИ

в результате протекания ядерных реакций) в количествах, представляющих радиационную (ядерно-радиационную) опасность.

Таблица № 2

Определения радиоактивных веществ

№	Формулировка	Лит.
1	<i>Вещество радиоактивное – вещества в любом агрегатном состоянии, содержащие радионуклиды с активностью, на которые распространяются требования норм радиационной безопасности</i>	[3]
2	<i>Радионуклид – радиоактивные атомы с данным массовым числом и атомным номером, а для изомерных атомов – и с данным определенным энергетическим состоянием атомного ядра. Радионуклиды (и нерадиоактивные нуклиды) элемента называют его изотопами</i>	[4]
3	<i>Радиоактивные вещества – не относящиеся к ядерным материалам вещества, испускающие ионизирующее излучение</i>	[5]
4	<i>Ионизирующее излучение – излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков</i>	[6]
5	<i>Ядерные материалы – материалы, содержащие или способные воспроизвести делящиеся (расщепляющиеся) ядерные вещества</i>	[5]
6	<i>Ядерный делящийся материал (вещество) – материал (вещество), содержащий делящиеся нуклиды (вещество) – ЯДМ (Н), при работе с которым не исключена возможность возникновения СЦР</i>	[2]
7	<i>Ядерно-опасный делящийся нуклид – ЯДМ (Н) – нуклид, присутствие которого в материале не исключает возможность возникновения СЦР при обращении с этим материалом</i>	[2]
8	<i>Реакция деления ядерная цепная самоподдерживающаяся – процесс деления ядер нуклидов, при котором число нейтронов, образующихся в процессе деления ядер за какой-либо интервал времени, равно или больше числа нейтронов, убывающих из системы вследствие утечки и поглощения за этот же интервал времени</i>	[7]
9	<i>Отходы радиоактивные – не предназначенные для дальнейшего использования вещества в любом агрегатном состоянии, в которых содержание радионуклидов превышает уровни, установленные нормами радиационной безопасности</i>	[3]
10	<i>Радиоактивные отходы – не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные в соответствии с критериями, установленными Правительством Российской Федерации</i>	[5]

Что касается применяемых в этих определениях терминов «вещество», «материал», «нуклид», то их можно интерпретировать следующим образом:

- для РВ, содержащего опасное количество радионуклидов, допустимо нахождение в любом агрегатном состоянии: твердом, жидком, газообразном;
- ЯМ, содержащие опасное количество ядерно-делящихся нуклидов, ядра которых способны, кроме радиоактивного распада, дополнительно делиться в ходе протекания СЦР с нейтронами, представляют собой твердые вещества в виде изделий (хотя ядерное топливо может находиться и в жидкой фазе при переходе ЯМ в расплав);
- радионуклиды, входящие в состав РВ, представляют собой атомы или ионы химических элементов, подверженные самопроизвольному радиоактивному распаду;
- ядерно-делящиеся нуклиды, входящие в состав ЯМ, представляют собой радионуклиды, ядра которых также способны делиться под действием нейтронов в ходе протекания СЦР.

При рассмотрении табл. № 2 следует обратить внимание на то, что применительно к ОИАЭ (для удобства в разграничении ЯРБ) ЯМ отделяют от других РВ, к которым и применяют общий термин «радиоактивные вещества».

При отнесении веществ к категориям ЯМ, РВ, РАО исходят также из нормируемых (предельных) уровней их радиационного воздействия, ниже которых вещества не обозначают радиоактивными, несмотря на наличие в них радионуклидов. С таким подходом соотносится исключение из перечня ЯУ объектов добычи урановых руд в определении, приведенном в табл. № 1.

Далее, в связи с предстоящим анализом концепции ПБЭ, принятой МАГАТЭ, следует также ознакомиться с позицией этой организации в отношении определения установок ЯТЦ.

В требованиях МАГАТЭ по безопасности [8] приведено, что: «к установкам ядерного топливного цикла относятся ядерные установки, за исключением атомных электростанций, исследовательских реакторов и критических сборок, в которых ядерные и радиоактивные материалы обрабатываются, подвергаются транспортно-технологическим операциям (физическому манипулированию), хранятся и подготавливаются для захоронения в количествах или концентрациях, создающих потенциальные опасности для персонала, населения и окружающей среды».

Указанный в [8] перечень деятельности, осуществляемой на установках ЯТЦ, приведен в табл. № 3.

Таблица № 3

Виды деятельности на установках ядерного топливного цикла [8]

№	Вид деятельности
1	<i>Добыча и переработка урановых и ториевых руд</i>
2	<i>Конверсия и обогащение урана</i>
3	<i>Реконверсия и изготовление ядерного топлива всех типов</i>
4	<i>Промежуточное хранение делящихся и воспроизводящих ядерных материалов до и после их облучения</i>
5	<i>Производство ядерной энергии для энергетических, исследовательских и других целей</i>
6	<i>Переработка отработавшего ядерного топлива и бридерных материалов, извлеченных из реакторов на тепловых и быстрых нейтронах</i>
7	<i>Кондиционирование сопутствующих отходов, обработка сбросов (выбросов), а также установки для промежуточного хранения отходов, допускающие возможность извлечения отходов для их последующего захоронения</i>
8	<i>Выделение радионуклидов из облученного тория и урана</i>
9	<i>Проведение соответствующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</i>

Как следует из табл. № 3, набор типов ядерных установок, которые могут быть отнесены к ОЯТЦ по версии МАГАТЭ, расширен за счет добавления установок для:

- добычи урановых и ториевых руд;
- производства ядерной энергии;
- проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Это означает, что в рассматриваемом документе МАГАТЭ принимают во внимание полный ЯТЦ и учитывают возможность создания потенциальной опасности, подпадающей под действие принятых в конкретной стране нормативных требований по допустимым уровням радиационного воздействия, причем на любой стадии полного ЯТЦ.

1.1.2. Специфика объектов ядерного топливного цикла

Наиболее полно учет особенностей осуществления технологических процессов ОЯТЦ приведен в требованиях МАГАТЭ по безопасности установок ЯТЦ [8]. Их перечень показан в табл. № 4.

Таблица № 4

Характерные особенности установок ядерного топливного цикла [8]

№	Характерные особенности
1	<i>На установках ядерного топливного цикла используется множество разнообразных технологий и процессов</i>
2	<i>Радиоактивный материал часто бывает задействован в технологических процессах в серии взаимосвязанных единиц оборудования и поэтому может находиться на различных участках всей установки</i>
3	<i>На одной и той же установке физические и химические формы задействованного материала могут также различаться</i>
4	<i>В некоторых процессах используются опасные химические вещества и газы, которые могут быть токсичными, коррозионно опасными, горючими или химически активными и, следовательно, могут обуславливать необходимость разработки конкретных требований в дополнение к требованиям ядерной безопасности</i>
5	<i>Реактивные химические вещества, используемые во многих установках ядерного топливного цикла, могут вызывать экзотермические реакции, которые необходимо контролировать в целях предотвращения таких эффектов, как перегрев, пожар или взрыв</i>
6	<i>Для установок ядерного топливного цикла характерны частые изменения режима эксплуатации, в оборудовании и технологических процессах</i>
7	<i>Эксплуатация установок ядерного топливного цикла, как правило, требует более масштабного вмешательства оператора, чем в случае ядерных реакторов, что может обуславливать возникновение конкретных опасностей для персонала</i>
8	<i>Общая опасность для населения в случае многих установок ядерного топливного цикла может быть низкой</i>
9	<i>Характер и разнообразие технологических процессов, связанных с установками ядерного топливного цикла, обуславливают широкий спектр опасных условий и возможных аварий, которые необходимо рассматривать при проведении анализа безопасности</i>
10	<i>Ввиду многообразия установок и связанных с ними опасностей установленные требования по обеспечению безопасности должны применяться с использованием дифференцированного подхода в случаях, для которых имеются соответствующие указания</i>

При ознакомлении с приведенным перечнем отличительных особенностей ОЯТЦ возникает вопрос о том, насколько эти особенности существенны с точки зрения влияния на возможность дифференцирования условий установления ПБЭ для ОЯТЦ и блока АС. Исходя из приведенных в табл. № 4 [8] формулировок, ответить на этот вопрос представляется затруднительным.

Так, указание на меньшую степень опасности ОЯТЦ (п. 8 табл. № 4) представляется недостаточно убедительным в связи со следующими обстоятельствами:

- с точки зрения обеспечения радиационной безопасности для ОЯТЦ и блока АС устанавливают единые критерии радиационного воздействия (основные пределы доз);

- негативные последствия аварий на блоке АС и ОЯТЦ могут быть сопоставимы по масштабу: примерами могут служить аварийные взрывы на ФГУП «ПО Маяк» (Челябинская область) в 1957 г. (6-й из 7 уровней по международной шкале ядерных событий INES) и на АО «СХК» в 1993 г. (4-й уровень по шкале INES).

Отмеченное разнообразие технологий и процессов на ОЯТЦ (п. 1 табл. № 4) и обусловленное этим разнообразие аварийных условий (п. 9 табл. № 4), вызывающее необходимость использования дифференцированного подхода к оценке безопасности (п. 10 табл. № 4) можно лишь условно считать существенными отличительными признаками, поскольку:

- существуют разнообразные типы промышленных ядерных реакторов, критических и подкритических стенов – также характеризующихся разнообразием потенциально возможных аварийных условий;

- на блоке АС и ОЯТЦ могут применять однотипное оборудование, включая однотипные упаковки, представляющие радиационную опасность (для транспортирования РВ и ЯМ, обращения с РАО);

- некоторые ЯУ ОЯТЦ по общим принципам функционирования (интенсивное выделение энергии внутри реактора при наличии контура охлаждения) могут считаться своеобразными аналогами ядерных реакторов (это относится, например, к индукционной плавке в холодном тигле для остекловывания высокоактивных радиоактивных отходов);

- на ОЯТЦ, как и на блоке АС, используют защитные системы безопасности, хотя и отличающиеся своей спецификой.

Наличие на ОЯТЦ опасных веществ, способных приводить к возникновению перегревов, пожаров, взрывов (п. 4, 5 табл. № 4) характерно, хотя и в меньшей степени, и для блока АС (примером является необходимость обеспечения водородной взрывозащиты). Частое изменение режима эксплуатации (п. 6 табл. № 4) и более масштабное вмешательство эксплуатационного персонала на ОЯТЦ (п. 7 табл. № 4) также можно отнести к достаточно относительному отличию.

Лишь две указанные в табл. № 4 особенности в большей степени соответствуют индивидуальным признакам ОЯТЦ. Это относится

к самопроизвольному распределению РВ по различным участкам ОЯТЦ (п. 2 табл. № 4) и возможность нахождения РВ на одном ОЯТЦ в различных физических и химических формах (п. 3 табл. № 4). Если раскрыть содержание этих двух особенностей, то можно сформулировать ряд поясняющих их дополнительных признаков следующим образом.

Ядерный реактор на блоке АС можно рассматривать как термодинамическую закрытую систему, которая обменивается с внешней средой энергией (ИИ), но не обменивается с внешней средой РВ (вследствие отсутствия существенного переноса РВ через локализирующий их физический барьер). Аналогичные закрытые системы характерны и для ряда ОЯТЦ (например, внутриобъектовый транспортный упаковочный комплекс).

Однако имеется значительный перечень ОЯТЦ, которые можно отнести к термодинамическим открытым системам, которые обмениваются с внешней средой (например, через системы вентиляции) не только энергией (ИИ), но и РВ, в том числе и с другими единицами оборудования ОЯТЦ. Это относится к ряду ЯУ, хранилищ РАО, открытым РИ.

Кроме того, к отличительным признакам ОЯТЦ следует отнести то, что на блоке АС:

- осуществляют управляемые технологические процессы, в то время как для ОЯТЦ характерным является (в том числе вследствие большого разнообразия присутствующих радионуклидов в технологических средах) протекание разнообразных неуправляемых реакций, включая СЦР и неуправляемые химические экзотермические реакции, приводящие к возникновению пожаров и взрывов;

- используют статические физические барьеры, в то время как на ОЯТЦ широко используют также динамические физические барьеры, в разреженных газовых потоках которых находятся РВ;

- осуществляют автономный (замкнутый) технологический процесс, в то время как на технологический процесс ОЯТЦ могут оказывать влияние продукты (примеси), поступающие с предыдущей технологической операции, что особенно характерно для периодических процессов.

Отсюда можно ожидать, что концепция ПБЭ блока АС может быть востребована и для ряда ОЯТЦ, но она может оказаться недостаточной для всех категорий ОЯТЦ.

1.2. Содержание понятия «концепция»

1.2.1. Общеупотребительное значение термина

Определение термина «концепция» отсутствует в основном документе по обеспечению безопасности ОЯТЦ [2]. Отсутствует оно и в упомянутом документе МАГАТЭ [1].

Это обстоятельство предполагает возможность использования термина «концепция» в нормативных документах по обеспечению безопасности ОЯТЦ в общеупотребительном смысле.

Существует много разновидностей определений, относящихся к понятию термина «концепция». Чтобы представить содержание этого установившегося за большой период времени понятия можно ограничиться следующими определениями:

- «Концепция (лат. *conception*, от *concipere* – схватывать, думать, замышлять). Соображение, способ понимания, восприятия» [9];
- «Концепция (от лат. *conception* понимание, система), определ. способ понимания, трактовки к.-л. явлений, ведущий замысел, конструктивный принцип разл. видов деятельности» [10];
- «Концепция (от лат. *conception* понимание, система), определ. способ понимания, трактовки к.-л. предмета, явления, процесса, основная т.зр. на предмет или явления, руководящая идея для их систематич. освещения» [11].

Все приведенные определения указывают на основной признак концепции как способа понимания, причем системного понимания раскрываемого понятия. Поскольку способ понимания может быть индивидуальным, в нормативных документах он должен быть унифицирован для единообразного применения. В этом случае концепцию применяемого в нормативных документах термина можно представить как принятую систему пояснений (понятий, концептуальных положений) к содержанию понятия этого термина; как своего рода «*пояснительную записку*».

В такой трактовке концепцию ПБЭ можно интерпретировать как систему обоснованных пояснений к содержанию понятия ПБЭ, позволяющую единообразно применять термин ПБЭ в нормативных документах, а содержащиеся в них требования, включающие этот термин – единообразно применять для обеспечения достижения целей безопасности. С учетом этого, концепцию можно также представить как единое целое в виде развернутого системообразующего понятия, включающего в себя систему раскрывающих его взаимосвязанных положений.

При этом для целей обеспечения безопасности и само понятие и раскрывающие его положения должны иметь научное обоснование. Как отметил нобелевский лауреат В. Оствальд [12]: *«в сущности главная работа (отдельных наук) и состоит в создании чистых понятий, резко отграниченных друг от друга и точно определенных по своему содержанию и объему».*

1.2.2. Трактовки понятия концепции в нормативных документах по ядерной и радиационной безопасности

В нормативных документах по обеспечению ЯРБ имеются несколько примеров, позволяющих оценить содержание понятия концепции.

Именно с точки зрения способа понимания и системы взглядов излагаются требования к содержанию концепции радиационной безопасности в нормативном документе [13]:

- *«необходимо описать принципы, критерии, методы расчета, технические средства и организационные мероприятия, на основе которых обеспечивается защита работников, населения и окружающей среды от недопустимого воздействия радиации и токсичных соединений (за счет радиоактивного натрия)»;*
- *«следует показать, что соблюдение требований к обеспечению безопасности оправдано опытом работы аналогичных блоков АС и не приведет к превышению уровней воздействия, регламентируемых НД»;*
- *«необходимо описать принципы радиационной защиты, выбор технических и организационных решений»;*
- *«показать, как используется в проекте накопленный опыт проектирования и эксплуатации других энергетических установок для снижения уровней облучения до возможно низких значений».*

В комментариях к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии [14] употребляемую для определения концепции систему понятий отождествляют с термином «подход»:

- *«концепция «течь перед разрушением» – подход к проектированию трубопроводов, опирающийся на доказанный механизм развития образовавшейся трещины, при котором течь, обнаруживаемая предусмотренными проектом АС техническими средствами, появляется раньше, чем трещина достигает критических размеров».*

Там же приведены комментарии к трем требованиям, относящимся к концепции вывода блока АС из эксплуатации:

- *«планирование вывода АС из эксплуатации при размещении, проектировании и сооружении должно осуществляться путем*

разработки и совершенствования концепции вывода АС из эксплуатации, которая должна быть представлена в ООБ АС»;

– «планирование вывода АС из эксплуатации при эксплуатации должно осуществляться путем периодического пересмотра (уточнения) концепции вывода АС из эксплуатации, представленной в ООБ АС. При этом должен учитываться опыт эксплуатации АС, включая опыт проведения ремонтных работ, выполненные реконструкции и модернизации, результаты проведенных обследований технического и радиационного состояния АС, результаты анализа имевших место аварий, иные факторы»;

– «...эксплуатирующая организация на основе концепции вывода АС из эксплуатации, а также анализа проектной документации и опыта эксплуатации должна обеспечить разработку программы вывода блока АС из эксплуатации».

В комментариях этих требований в [14] дано следующее определение: «концепция вывода из эксплуатации блока АС – периодически уточняемый (корректируемый) документ, сопровождающий АС в течение всего полного жизненного цикла, содержащий общие (концептуальные) решения по обеспечению вывода из эксплуатации блока АС. В нем рассматриваются возможные варианты вывода из эксплуатации, предварительно определяются классы, категории и количества РАО, которые будут образовываться при выводе из эксплуатации. Представляемая в ООБ АС концепция вывода из эксплуатации блока АС должна содержать выбранный (на основе сопоставления возможных вариантов вывода из эксплуатации блока АС) вариант вывода из эксплуатации блока АС, а также критерии и обоснования указанного выбора».

Как следует из представленной информации, термин «концепция» трактуется в [14] также как способ понимания (обоснования), в данном случае, безопасного вывода блока АС из эксплуатации с учетом различных вариантов имеющихся возможностей и накопленного опыта. При этом в [14] подчеркивается значимость концепции для планирования и разработки программы практических действий для осуществления поставленных задач, которая подтверждается необходимостью документирования концепции, актуализации этого документа и включением его в ООБ блока АС.

Вместе с тем, в требованиях МАГАТЭ по обеспечению безопасности установок ЯТЦ [8] применяется тождество между понятиями концепции и философии:

– «философия (концепция) безопасности, которой руководствуются при реализации принципов, изложенных в публикации

SF-I, основана на концепции глубокоэшелонированной защиты и применении мер по менеджменту и верификации безопасности на протяжении всего жизненного цикла установки ядерного топливного цикла»;

– «философия (концепция) безопасности предусматривает средства, с помощью которых организация помогает отдельным лицам и группам безопасно выполнять поставленные перед ними задачи с учетом факторов взаимодействия человека, технологий и организации».

Аналогичный подход применяется в документе ОЭСР АЯЭ [15]. В разделе 1.2.3 «Принципы обеспечения безопасности» [15] указано, что *«в этой главе рассматривается принятая международным сообществом философия безопасности, которая обеспечивает высокие стандарты безопасности в ЯТЦ».* Здесь, кроме того, постулируется тождество понятий терминов «принцип» и «философия».

Рассмотрим насколько правомерно заменять понятие «концепция» понятиями «философия» и «принцип». Для этого достаточно сравнение определений терминов «философия» и «концепция», чтобы установить их существенное отличие.

Так, в [16] приведены следующие определения термина «философия»:

– «философия...форма общественного сознания, учение об общих принципах бытия и познания, об отношении человека к миру, наука о всеобщих законах развития природы, общества и мышления»;

– «философия...рефлексия о последних (предельно общих) принципах (основаниях) бытия и познания, о смысле человеческого существования. Философия дистанцируется от любых форм наличного (сложившегося) знания, ставя их под вопрос и делая предметом рассмотрения их явные или неявные предпосылки».

С учетом этих определений, можно заключить, что, упрощенно говоря, философия определяет принципы для углубления познания, а концепция поясняет уже установленные конкретные принципы для их правильного применения.

По-видимому, авторы [8, 15] под философией понимали идеологию, понятие которой более близко к понятию концепции. Так, согласно определению, приведенному в [10]: *«идеология...система полит., правовых, нравств., религ., эстетич. и философ. взглядов и идей, в к-рых осознаются и оцениваются отношения людей к действительности».*

Из этого определения (в целях проводимого анализа) следует выделить систему правовых взглядов и идей применительно к отношению персонала и населения к радиационной опасности, исходящей от ОЯТЦ, то есть применительно к проблеме ЯРБ. Не случайно автор [17] назвал свою

монографию «Идеология безопасности». Но и между терминами «идеология» и «концепция» существуют определенные отличия. По сути, можно отметить, что идеология как система взглядов представляет собой учение, а концепция, соответственно, пояснение учения, но не в виде отдельных комментариев, а в виде системы взаимосвязанных понятий.

Что касается понятия термина «принцип», то в [10] дано следующее определение: *«принцип (от лат. principium – начало, основа), 1) осн. исходное положение к. л. теории, учения, науки, мировоззрения, полит. орг-ции ...»*. Отсюда очевидно, что термин «принцип» может относиться не только к философии как общему мировоззрению, но и к конкретной науке, в том числе к научному обоснованию безопасности ОЯТЦ, и, следовательно, использоваться в качестве исходного положения, в том числе в концепции ПБЭ ОЯТЦ.

С учетом изложенного, можно заключить, что в настоящее время в нормативных документах РФ используется традиционное понятие термина «концепция», а стремление к усовершенствованию этого понятия в международных документах представляется недостаточно убедительным.

Глава 2. Концепция пределов безопасной эксплуатации для атомных электростанций, принятая Международным агентством по атомной энергии

2.1. Определение пределов безопасной эксплуатации

2.1.1. Содержание определения

В концентрированном виде понятие ПБЭ для блока АС содержится в его определении. В [1] дано следующее определение ПБЭ блока АС: *«Пределы безопасной эксплуатации. Пределы параметров эксплуатации, в рамках которых обоснована безопасная эксплуатация станции».*

Данная формулировка в первую очередь указывает на две основные отличительные особенности, характеризующие понятие ПБЭ – это:

- а) предназначение ПБЭ: для обоснования безопасной эксплуатации;
- б) показатели для осуществления такого предназначения: пределы параметров эксплуатации.

Иными словами, согласно данному определению, обоснование безопасной эксплуатации осуществляют посредством наложения ограничений на изменения параметров эксплуатации.

Внимательное рассмотрение этого определения позволяет отметить ряд вытекающих из него положений, более полно раскрывающих содержание понятия ПБЭ. Так, можно сделать следующие заключения относительно параметров эксплуатации, используемых для установления ПБЭ:

- 1) термин *«пределы»* относится к параметрам, следовательно, его можно интерпретировать как предельные значения этих параметров;
- 2) параметры, по которым устанавливают ПБЭ, характеризуют эксплуатацию станции, следовательно, предельные значения относятся к устанавливаемому диапазону их изменения для безопасной эксплуатации АС;
- 3) предполагается, что ПБЭ не относятся к не эксплуатационным параметрам АС;
- 4) так как значения параметров должны быть определяемыми, ПБЭ должны относиться к контролируемым параметрам эксплуатации;
- 5) предполагается, что ПБЭ не относятся к неконтролируемым параметрам эксплуатации;
- 6) так как ПБЭ используют для обоснования безопасной эксплуатации, к ним относятся параметры эксплуатации, влияющие на нарушение безопасной эксплуатации АС;
- 7) предполагается, что к ПБЭ не относятся параметры эксплуатации, не влияющие на нарушение безопасной эксплуатации АС;

8) предполагается, что изменения значений других параметров эксплуатации (для которых не установлены ПБЭ) не могут нарушать безопасную эксплуатацию АС;

9) так как ПБЭ используют для обоснования безопасной эксплуатации, они ограничивают диапазоны допустимого изменения параметров эксплуатации;

10) предполагается, что не ограниченные ПБЭ диапазоны возможного изменения параметров эксплуатации, относятся к опасной (или более опасной) эксплуатации;

11) параметры эксплуатации даны в определении во множественном числе, следовательно, ПБЭ устанавливают для некоторого числа (набора) параметров эксплуатации АС;

12) предполагается, что набор параметров эксплуатации, влияющих на нарушение безопасной эксплуатации, должен быть полным для обоснования безопасной эксплуатации АС;

13) рамки ПБЭ даны в определении во множественном числе, что соответствует применяемому набору параметров эксплуатации;

14) предполагается, что рамки ПБЭ относятся к каждому сочетанию двух параметров эксплуатации;

15) внутри рамок ПБЭ находятся диапазоны значений параметров эксплуатации (для которых установлены ПБЭ), соответствующие безопасной эксплуатации АС;

16) предполагается, что безопасный диапазон изменения каждого конкретного параметра эксплуатации при установлении ПБЭ должен быть один и тот же (неизменным) для всех бинарных рамок ПБЭ, в которые он входит.

Если исходить из приведенных выше положений, содержание определения ПБЭ можно расширить следующим образом: это предназначенные для обоснования безопасной эксплуатации АС пределы значений для полного набора контролируемых параметров эксплуатации, влияющих на нарушение безопасной эксплуатации, которые образуют рамки, ограничивающие безопасные для осуществления эксплуатации АС диапазоны изменения значений этих параметров эксплуатации.

Как отмечено выше, вторая отличительная особенность ПБЭ связана с их предназначением. Поскольку, согласно определению, обеспечение безопасной эксплуатации АС в границах рамок ПБЭ должно быть обоснованно, возникает вопрос о понятии самого обоснования безопасной эксплуатации.

С учетом изложенных положений, можно привести следующие соображения, относящиеся к содержанию понятия обоснования безопасной

эксплуатации в рамках ПБЭ в соответствии с анализируемым определением:

- исходным пунктом обоснования безопасной эксплуатации можно считать выявление потенциальных опасностей, проявляющихся посредством недопустимого изменения значений определенных параметров эксплуатации, то есть обоснование таких возможных диапазонов изменения параметров эксплуатации, которые не соответствуют безопасной эксплуатации;

- далее, обоснование безопасной эксплуатации посредством использования рамок ПБЭ будет некорректным, если не будут учтены все параметры эксплуатации, влияющие на нарушение безопасной эксплуатации. Поэтому следующим этапом следует признать обоснование полноты набора параметров эксплуатации, способных влиять на нарушение безопасной эксплуатации;

- соответственно, для обоснованного набора важных для обеспечения безопасности параметров эксплуатации должны быть обоснованы интервалы приемлемых ограничений по каждому из этих параметров эксплуатации;

- наконец, на основании обоснованных ограничений по изменению значений каждого из принятого набора параметров эксплуатации, должна быть обоснована (согласована) единая система рамок ПБЭ, служащая обоснованием безопасной эксплуатации.

Такая трактовка предполагает наличие последовательных этапов обоснования безопасной эксплуатации. На рис. 1 показана упрощенная принципиальная схема этапов обоснования безопасной эксплуатации АС на основании анализа рассматриваемого определения ПБЭ.

При ознакомлении с данной схемой также возникают вопросы, преимущественно относящиеся как к обоснованию выбора предельных значений параметров эксплуатации, так и к подходу к обоснованию рамок ПБЭ.

Содержание понятия рамок ПБЭ многосложно, поэтому оно будет рассмотрено в следующем разделе. Здесь же следует остановиться на общих соображениях относительно принципиального подхода к разграничению безопасной эксплуатации от опасной, то есть обратиться к вопросу о приемлемых интервалах для ограничения значения параметров, важных для безопасности.

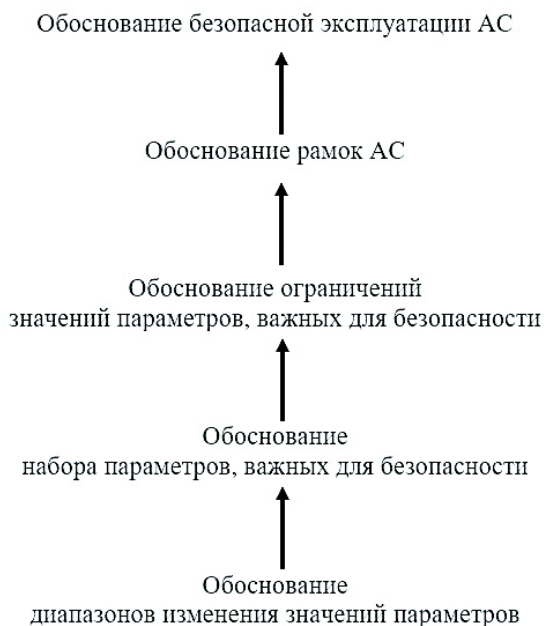


Рис. 1. Принципиальная схема этапов обоснования безопасной эксплуатации атомной станции

В этой связи следует отметить, что в анализируемом определении ПБЭ нет указаний на принятый подход к обоснованию безопасной эксплуатации. Вместе с тем из анализа рассматриваемого определения можно допустить, что обоснование безопасной эксплуатации посредством установления ПБЭ возможно в некоторых диапазонах значений параметров эксплуатации, ограниченных предельными значениями. То есть, хотя и в неявном виде, представляется, что ПБЭ для конкретного параметра эксплуатации можно устанавливать в некотором диапазоне изменений параметров эксплуатации, который сам ограничен соответствующим критическим (предельно допустимым) значением. Действительно, в определении ПБЭ не указано, что обоснование безопасной эксплуатации осуществляют для предельно допустимых значений параметров эксплуатации.

Можно предположить, что принципиальная основа такого подхода близка к понятийному содержанию диаграммы приемлемости, характеризующей взаимосвязь между частотой негативных событий

и тяжестью негативных последствий. С учетом этого рассмотрим возможности такого подхода (рис. 2).

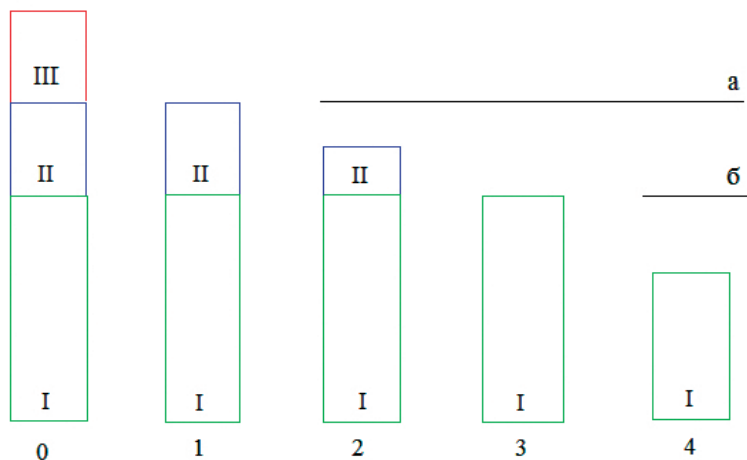


Рис. 2. Варианты принципиальных подходов к обоснованию безопасной эксплуатации посредством установления предела безопасной эксплуатации

Упрощенно (для принципиального понимания) условный фрагмент такой диаграммы изображен на графике 0 рис. 2. Область I на этом графике соответствует состояниям эксплуатации с пренебрежимо малой степенью опасности; область II – состояниям эксплуатации с приемлемой степенью опасности; область III – состояниям с неприемлемой степенью опасности. Соответственно, линии (а) и (б) на этом графике относятся к критериям приемлемости для границ указанных областей.

Возможные варианты подходов к установлению ПБЭ показаны на графиках 1–3 рис. 2. На графике 1 показаны предельно расширенные границы допустимой области безопасной эксплуатации. Далее, на графике 2 рис. 2 изображена область безопасной эксплуатации с приемлемым (варьируемым) запасом безопасности, который может быть изменен в определенных границах. Наконец, на графике 3 рис. 2 показана предельная суженная – практически гарантированная область безопасной эксплуатации.

Соответственно, на графике 4 рис. 2 также изображена практически гарантированная область безопасной эксплуатации, но для нее

установление ПБЭ представляется излишним, так как она не достигает области с приемлемой степенью опасности. Таким образом, можно ожидать, что не для каждого параметра эксплуатации АС следует устанавливать ПБЭ.

Отсюда также можно заключить, что обоснование безопасной эксплуатации посредством установления ПБЭ непосредственным образом связано с применением критериев безопасности (приемлемости), необходимых для их установления.

2.1.2. Интерпретация понятия рамок пределов безопасной эксплуатации

Перечень положений, относящихся к содержанию понятия ПБЭ, можно было бы расширить посредством анализа определений терминов, входящих в определение ПБЭ, а именно:

- параметры эксплуатации;
- безопасная эксплуатация АС;
- рамки пределов безопасной эксплуатации.

Однако определения этих терминов отсутствуют в [1], хотя там изложены сведения, относящиеся к ним.

Наибольшее затруднение для понимания вызывает употребление в определении ПБЭ термина «*рамки ПБЭ*», которое допускает различные варианты их толкования. Можно только удостовериться в том, что под рамками ПБЭ допустимо понимать ограниченные ПБЭ – безопасные диапазоны изменения значений параметров эксплуатации, по которым установлены ПБЭ. Тем не менее очевидная важность этого понятия делает необходимым осуществление попытки его интерпретации.

В [1] (в отсутствие обобщающего определения) приведены примеры следующих параметров эксплуатации, предельные значения которых должны быть предназначены для образования рамок ПБЭ:

- температура топлива;
- температура оболочек топлива;
- температура теплоносителя;
- давление теплоносителя.

Тем не менее примеры самих рамок, образуемых ПБЭ по этим параметрам, в [1] не представлены. В связи с этим возникает потребность в наполнении употребляемого в определении образа рамок ПБЭ соответствующим предметным содержанием.

Для наглядности рамки ПБЭ можно представить в виде графиков с осями координат, соответствующих значениям параметров эксплуатации

и с нанесением на них ПБЭ по этим параметрам. При первичном ознакомлении с содержанием понятия рамок ПБЭ достаточно рассмотреть элементарные типы таких графиков в самом общем виде и с наименьшим количеством параметров, по которым установлены ПБЭ.

Простейший вид рамки реализуется для двух независимых параметров эксплуатации, когда безопасная эксплуатация осуществляется при более низких значениях этих параметров. Пример такой рамки показан на рис. 3.

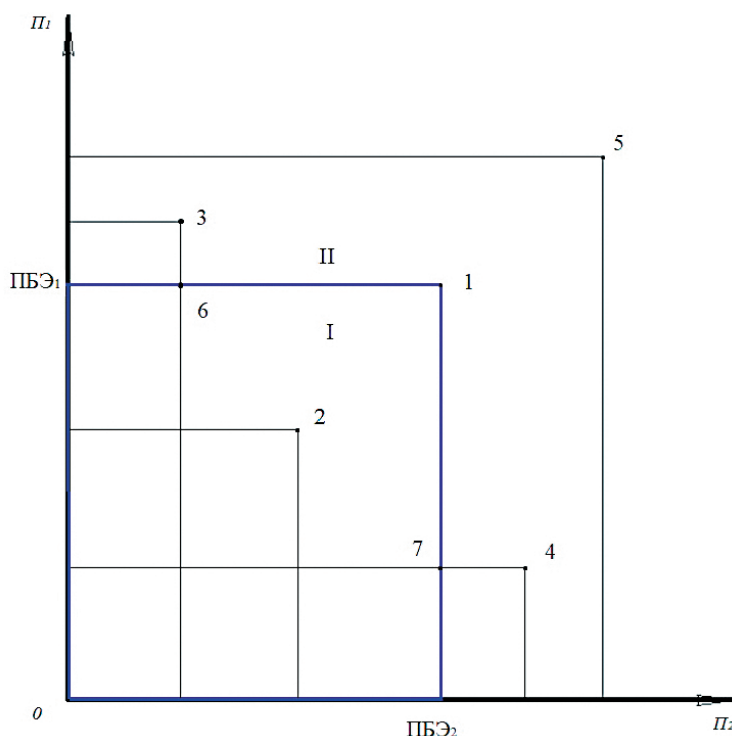


Рис. 3. Понятийная схема элементарной рамки пределов безопасной эксплуатации для независимых параметров эксплуатации

По оси ординат на этом графике приведены значения параметра Π_1 , одно из которых равно ПБЭ₁. Соответственно, по оси абсцисс приведены значения параметра Π_2 и установленный по этому параметру ПБЭ₂. Начало координат на графике соответствует начальным значениям этих параметров.

Для данного варианта рамка ПБЭ ограничена отрезками, параллельными осям координат и выходящими из точек, соответствующих ПБЭ. Данные отрезки пересекаются в точке 1. Искомую рамку ПБЭ условно можно обозначить как 0-ПБЭ₁-1-ПБЭ₂. Эта рамка ПБЭ отделяет область безопасной эксплуатации I, находящуюся внутри рамки, от области II, находящейся вовне рассматриваемой рамки ПБЭ и не относящейся к области безопасной эксплуатации.

На рис. 3 представлены также примеры взаимного расположения значений этих параметров эксплуатации по отношению к выделенной рамки ПБЭ. Так, для точки 2 координаты обоих параметров находятся внутри диапазонов изменения их значений, ограниченных ПБЭ. Поэтому эта точка находится внутри рамки ПБЭ, то есть в области безопасной эксплуатации.

Для точек 3 и 4 значения одного из параметров превышает установленные ПБЭ. Вследствие этого данные точки не попадают в рамку ПБЭ и находятся за границей обоснованной области безопасности. Точка 5, также лежащая вне рамки ПБЭ, соответствует границам диапазонов возможного изменения параметров П₁ и П₂.

Можно далее отметить, что рассмотренный тип рамки ПБЭ характерен не только для двух независимых параметров эксплуатации, а также может относиться к случаю, когда значение одного параметра увеличивается с возрастанием другого параметра, по крайней мере, до достижения установленных ПБЭ по этим параметрам эксплуатации. При этом траектория функциональной зависимости при построении рамки ПБЭ будет проходить через точку 1, показанную на рис. 3.

Вместе с тем установление рамки ПБЭ может осуществляться и другим способом. Пример другого подхода к установлению рамки ПБЭ показан на рис. 4.

На рис. 4 представлены те же параметры эксплуатации П₁ и П₂ и те же характерные точки, как и приведенные на рис. 2. Однако границы рамки ПБЭ здесь установлены другим способом: посредством линии, соединяющей ПБЭ₁ с ПБЭ₂. Условно новую рамку ПБЭ можно обозначить как 0-ПБЭ₁-ПБЭ₂.

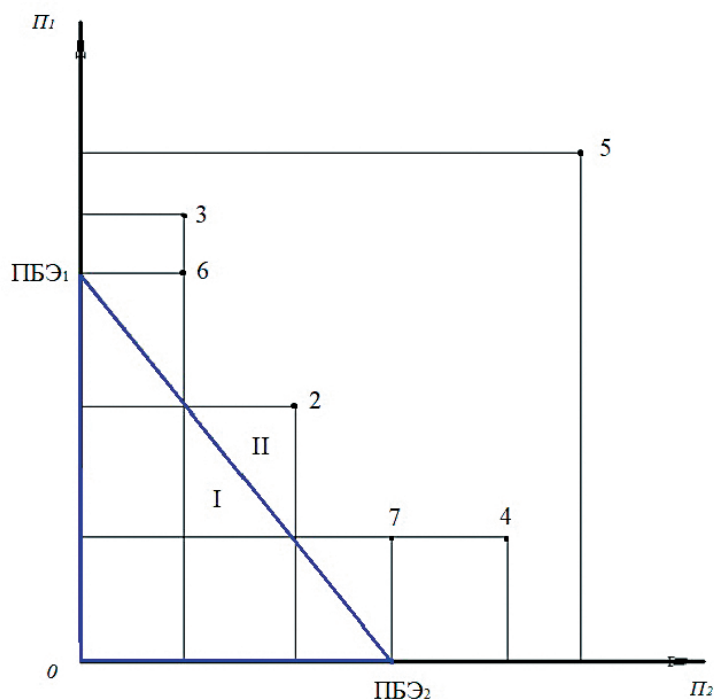


Рис. 4. Понятийная схема рамки пределов безопасной эксплуатации для одного из вариантов зависимых параметров эксплуатации

Такое построение (или такой тип функциональной зависимости между параметрами эксплуатации) существенно ограничивает область безопасной эксплуатации по сравнению с предыдущим вариантом:

- например, точка 2, попадающая на рис. 3 в область безопасной эксплуатации, на рис. 4 уже находится вне этой области;
- точки 5 и 6, попадающие на рис. 3 на границу области безопасной эксплуатации, на рис. 4 тоже находятся за пределами этой области.

Существенно, что при таком способе установления рамки ПБЭ возможны случаи (например, при достижении точки 2), когда не будет превышен ни один из установленных ПБЭ и, тем не менее, может быть нарушено осуществление безопасной эксплуатации.

Поскольку рамка 0- $\Pi_{БЭ1}$ - $\Pi_{БЭ2}$ находится внутри рамки 0- $\Pi_{БЭ1}$ -1- $\Pi_{БЭ2}$, ее использование (при прочих равных условиях) должно

соответствовать более консервативному подходу к обоснованию условий для осуществления безопасной эксплуатации.

Даже из приведенных элементарных примеров следует, что обоснование безопасной эксплуатации может зависеть не только от обоснования отдельных ПБЭ, но и от обоснования способа установления рамок ПБЭ.

2.1.3. Внутренняя структура рамок пределов безопасной эксплуатации

Согласно приведенному в [1] определению ПБЭ, обоснование безопасной эксплуатации блока АС происходит в установленных рамках ПБЭ. В этой связи возникает вопрос: а какую эксплуатацию блока АС допустимо называть безопасной?

Поскольку в [1] определение самого термина «безопасная эксплуатация» отсутствует, возникает потребность использовать изложенную в [1] косвенную информацию, относящуюся к этому понятию. Возможность определить основные аспекты содержания понятия безопасной эксплуатации возникает при анализе употребляемого в [1] более общего, чем ПБЭ, понятия пределов и условий эксплуатации (ПУЭ), которое включает в себя понятие ПБЭ.

В [1] дано такое определение ПУЭ: *«Пределы и условия для эксплуатации. Набор правил, устанавливающих пределы для параметров, функциональные возможности и уровни рабочих характеристик для оборудования и персонала, одобренные регулирующим органом для безопасной эксплуатации атомной станции».*

Сравнение определений ПБЭ и ПУЭ позволяет внести следующие уточнения в понятие ПБЭ блока АС:

- применительно к безопасной эксплуатации в определении ПУЭ использован обобщенный термин *«пределы для параметров»*, что указывает на то, что ПБЭ являются не единственными пределами параметров, устанавливаемыми при осуществлении безопасной эксплуатации;

- ПБЭ (как и другие входящие в ПУЭ пределы для эксплуатации) устанавливают с использованием набора правил;

- установление ПБЭ должно быть одобрено регулирующим органом.

Отсюда следует, что безопасная эксплуатация состоит из нескольких составляющих, включенных в рамки ПБЭ и разграниченных друг от друга своими пределами, установленными для параметров эксплуатации.

Термин «набор правил» допускает различные трактовки, в том числе, с учетом изложенного, его можно интерпретировать как процедуру достижения соответствия между различными пределами, установленными применительно к одинаковым параметрам эксплуатации.

Далее, поскольку установленные ПБЭ должны быть одобрены регулирующим органом, очевидно, что такое требование относится именно к обоснованию рамок ПБЭ, при соблюдении границ которых должна обеспечиваться безопасная эксплуатация блока АС.

Особое значение применительно к рассматриваемому вопросу имеет то, что определение ПУЭ в [1] дополнено схемой, указывающей на составные части эксплуатационных и аварийных состояний блока АС. Согласно этой схеме и в соответствии с направлением изменения значения параметра эксплуатации от нормальной эксплуатации к тяжелой аварии:

- эксплуатационные состояния включают: 1) нормальную эксплуатацию и 2) ожидаемые нарушения нормальной эксплуатации;
- аварийные состояния подразделяются на две составляющие; в первую из них входят: 1) аварийные состояния, которые явным образом не рассматриваются в рамках проектных аварий, но которые покрываются ими, и 2) проектные аварии;
- во вторую группу аварийных состояний, объединенных термином «управление авариями» входят: 1) запроектные аварии без существенного повреждения активной зоны и 2) тяжелые аварии.

Приведенные в [1] определения, относящиеся к эксплуатационным и аварийным состояниям блока АС, представлены в табл. № 5.

Таблица № 5

Определение состояний атомной станции [1]

№	Формулировка
1	Эксплуатационные состояния. Состояния, определенные для нормальной эксплуатации и ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации
2	Нормальная эксплуатация. Эксплуатация внутри установленных пределов и условий
3	Ожидаемые нарушения нормальной эксплуатации. Отклонение от процесса нормальной эксплуатации, возникновение которого предполагается хотя бы один раз за срок службы установки, но которое в виду мер, предусмотренных проектом, не вызывает существенных повреждений устройств, важных для безопасности и не приводит к проектным авариям
4	Аварийные условия. Отклонения от условий нормальной эксплуатации, более серьезные, чем в случаях ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации, включающие в себя проектные и тяжелые аварии

№	Формулировка
5	<i>Проектные аварии. Аварийные условия, на которые рассчитан проект станции, в соответствии с установленными проектными критериями, и для которых повреждения топлива и выход радиоактивных веществ сохраняется в рамках разрешенных пределов</i>
6	<i>Тяжелые аварии. Аварийные условия, более тяжелые, чем проектные аварии и, включающие в себя существенные повреждения активной зоны</i>
7	<i>Уставки систем безопасности. Уровни, при которых автоматически срабатывают защитные устройства в случаях ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации или проектных аварий для того, чтобы предотвратить превышение пределов безопасной эксплуатации</i>
8	<i>Система безопасности. Система важная для безопасности, предусмотренная для обеспечения безопасного останова реактора, обеспечения отвода остаточных энерговыделений от активной зоны или для ограничения последствий ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации или проектных аварий</i>

Анализ рассмотренной выше схемы эксплуатационных и аварийных состояний станции и приведенных в табл. № 5 определений позволяет составить определенное представление о границах и внутренней структуре рамки ПБЭ и, следовательно, о понятии безопасной эксплуатации.

На основании этих данных можно заключить, что:

- рамки ПБЭ включают в себя рамки уставок ПБЭ и рамки эксплуатационных пределов;
- безопасная эксплуатация, обоснованная рамками ПБЭ, включает в себя две составляющие: нормальную эксплуатацию и ожидаемые нарушения нормальной эксплуатации, которые не вызывают существенных повреждений устройств, важных для безопасности, и не приводят к проектным авариям;
- поскольку эксплуатационные состояния также состоят из указанных двух составляющих, то можно полагать, что безопасная эксплуатация охватывает все эксплуатационные состояния АС;
- поскольку эксплуатационные состояния соседствуют на схеме с аварийными состояниями, которые явным образом не рассматриваются в рамках проектных аварий, но которые покрываются ими – можно полагать, что при попадании значений параметров эксплуатации, для которых установлены ПБЭ, в диапазоны этих аварийных состояний проектная авария может не произойти;
- в таком случае оказывается, что выход за рамки ПБЭ при «неожиданных» нарушениях нормальной эксплуатации может не привести к возникновению аварии на станции, если не произойдет выход значений

параметров эксплуатации за пределы диапазонов этих аварийных состояний;

- для предотвращения нарушения ПБЭ, в случае ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации, предусматриваются системы безопасности, которые автоматически срабатывают до достижения ПБЭ в момент достижения установленных для их срабатывания значений (уставок) параметров эксплуатации, для которых установлены ПБЭ;

- срабатывание систем безопасности своим воздействием должно предотвратить нарушение ПБЭ, а в случае возможного нарушения ПБЭ – ограничить последствия проектной аварии рамками разрешенных пределов, а также предотвратить запроектную и тяжелую аварии, а в случае невозможности этого предотвращения – ограничить их последствия;

- по аналогии с определением нормальной эксплуатации можно дать следующее формальное определение безопасной эксплуатации – это эксплуатация внутри ПБЭ и условий безопасной эксплуатации, которые допустимо трактовать как условия, обеспечивающие соблюдение ПБЭ.

Такую трактовку применительно к внутренней структуре рамок ПБЭ можно проиллюстрировать на наиболее простых примерах, как это показано на рис. 5, 6.

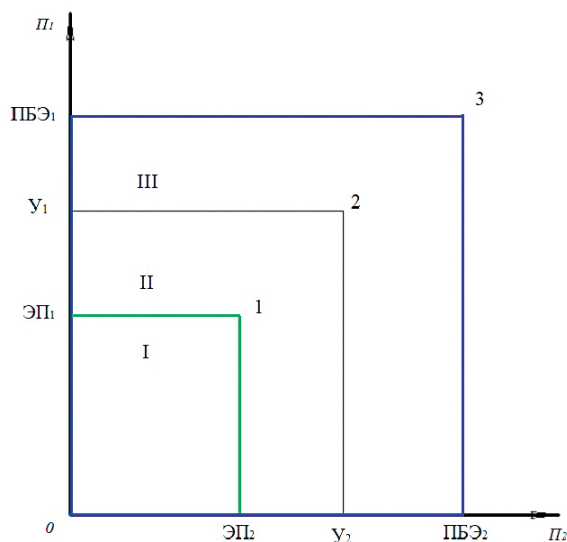


Рис. 5. Схема внутренней структуры рамки пределов безопасной эксплуатации для двух независимых параметров эксплуатации

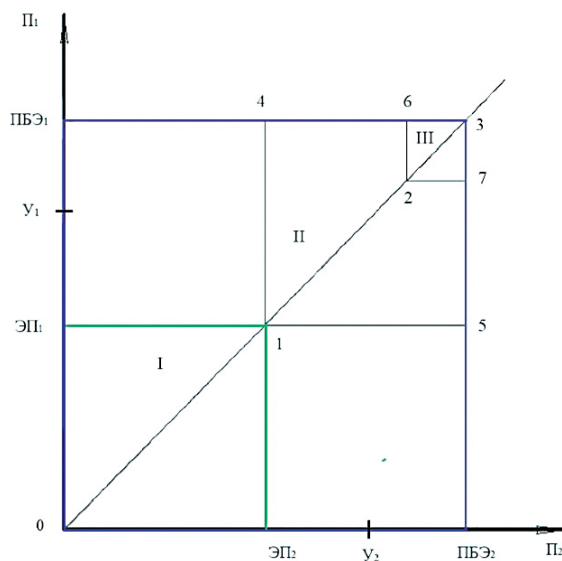


Рис. 6. Схема внутренней структуры рамки пределов безопасной эксплуатации для двух линейно зависимых параметров эксплуатации

На этих рисунках приведены значения параметров эксплуатации P_1 и P_2 , включающие ПБЭ, уставки систем безопасности ($У$), ЭП. Исходное значение параметров соответствует началу координат графиков (точка 0). На обоих рисунках используется, там, где это возможно, одинаковое обозначение.

В одном случае (рис. 5) допускалось, что изменение параметров эксплуатации P_1 и P_2 происходит независимо друг от друга; в другом (рис. 6) – принимали, что параметр P_1 функционально связан с параметром P_2 восходящей линейной зависимостью.

Согласно рис. 5 для независимых параметров эксплуатации:

- рамка ПБЭ (0 -ПБЭ₁-3-ПБЭ₂) включает в себя при низких значениях параметров эксплуатации рамку ЭП (0 -ЭП₁-1-ЭП₂), которая ограничивает область I, соответствующую нормальной эксплуатации;
- вне рамки ПБЭ внутри рамки ПБЭ находится область II, соответствующая ожидаемым нарушениям нормальной эксплуатации;
- в области II вблизи границ рамок ПБЭ находится область III, соответствующая рамке уставок систем безопасности. Это область значений параметров эксплуатации, в которой происходит функционирование систем безопасности.

Другой вариант возможного взаимного расположения рамок ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации и рамок уставок систем безопасности имеет место для взаимосвязанных параметров эксплуатации, как это показано на рис. 6.

Как следует из рис. 6, рамка ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации (1-4-3-5) уже отделена от рамки ЭП, а рамка диапазонов значений параметров, предусмотренных для функционирования систем безопасности, или условно рамка уставок систем безопасности (2-6-3-7) – занимает верхний правый угол рамок ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации и ПБЭ.

Очевидно, что вне зависимости от функциональных зависимостей между параметрами эксплуатации рамки ПБЭ будут содержать рамки ЭП и рамки ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации, внутри которых будут располагаться рамки уставок систем безопасности.

Поскольку внутренняя структура рамки ПБЭ содержит область ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации, которая непосредственно связана с областью более серьезных отклонений от нормальной эксплуатации, относящейся к аварийным состояниям АС – представляет интерес установить взаимное расположение рамки ПБЭ с рамками, относящимися к аварийным состояниям блока АС.

Пример взаимного расположения рамок для эксплуатационных и аварийных состояний показан на рис. 7.

На этом рисунке условно показана функциональная зависимость между двумя параметрами эксплуатации, для которых установлены ПБЭ, выходящая из рамки ЭП и соответствующая возрастающим нарушениям нормальной эксплуатации (траектории аварии).

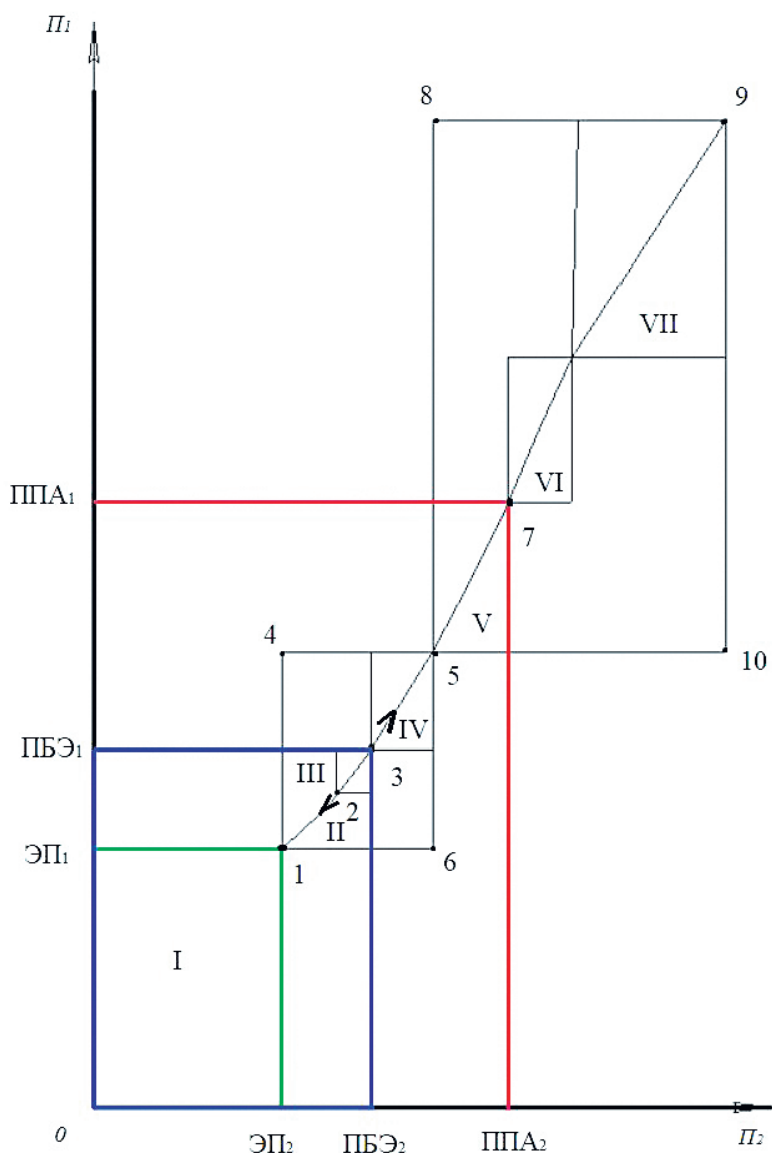


Рис. 7. Схема взаимного расположения рамок эксплуатационных и аварийных состояний для двух функционально зависимых параметров эксплуатации

Согласно рис. 7:

- рамка ПБЭ пересекается с общей рамкой нарушений нормальной эксплуатации (1-4-5-6), предшествующих возникновению проектной аварии. При этом в рамку ПБЭ входят менее значимые нарушения нормальной эксплуатации (область II); за пределами рамки ПБЭ находится область IV, соответствующая более значимым нарушениям нормальной эксплуатации. В точке 3 стрелками показаны два возможных направления параметров: в сторону ЭП при выполнении своих функций системами безопасности или в сторону возникновения проектной аварии при недостаточно эффективной работе систем безопасности. Очевидно, что точка 3 характеризует принятые приемлемые для обоснования безопасности значения параметров эксплуатации; при их большем значении увеличивается риск возникновения аварии. Можно полагать, что эта точка не является строго фиксированной, а может изменять свое положение в области нарушений нормальной эксплуатации в зависимости от выбранного критерия приемлемости в отношении риска возникновения аварии и возможностей применяемых систем безопасности;

- рамка ПБЭ находится внутри рамки установленных пределов для проектной аварии (0-ППА₁-7-ППА₂);

- область V соответствует диапазонам изменения значений параметров эксплуатации, относящихся к проектной аварии;

- рамка нарушений нормальной эксплуатации в точке 5 соприкасается с рамкой, относящейся к аварийным состояниям блока АС (5-8-9-10): проектной аварии (область V), запроектной аварии (область VI), тяжелой аварии (область VII). Точка 9 на рисунке соответствует наибольшим из возможных значений параметров эксплуатации.

Приведенная на рис. 7 диаграмма рамок эксплуатационных и аварийных состояний позволяет наглядно определить место рамки ПБЭ и ее внутренней структуры по отношению к рамкам других возможных состояний, определяемых значениями параметров эксплуатации.

В соответствии с рис. 7 и определениями, приведенными в табл. № 5, можно прийти к заключению, что:

- в общем случае рамка ПБЭ пересекается с рамками всех аварийных состояний, так как они, так же как и рамка ПБЭ, включают в себя (всю как показано на рисунке или возможно частично) рамку, ограничивающую область ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации. Это означает, что начальные участки траекторий аварий могут входить во внутреннюю структуру рамок ПБЭ;

- для предотвращения нарушения ПБЭ в случаях: 1) ожидаемых нарушений нормальной эксплуатации и 2) проектных (и других) аварий;

обеспечения 3) безопасного останова реактора и 4) отвода остаточных энерговыделений от активной зоны; 5) ограничения последствий отдельных нарушений нормальной эксплуатации – предусмотрены системы безопасности и уставки для их ввода в действие. При этом установленные ПБЭ могут быть не нарушены, а, следовательно, аварии – предотвращены;

- СБ предусмотрены также для ограничения последствий проектных (и других) аварий. При этом ПБЭ будут нарушены, а проектная авария произойдет, но при этом не будут нарушены установленные пределы для проектной аварии, которые при отсутствии функционирования СБ были бы превышены;

- следует учитывать, что применение термина «*проектная авария*» в определениях может иметь два значения: 1) как предотвращенная проектная авария на начальном участке своей траектории; 2) как произошедшая проектная авария на конечном участке своей траектории;

- для: 1) предотвращения перехода аварийного события в тяжелую аварию, 2) ослабления последствий тяжелой аварии и 3) достижения безопасного состояния станции в ходе развития запроектных аварий – предусмотрено управление авариями, состоящее в выполнении соответствующего набора действий; при этом достижение послеаварийного безопасного состояния АС будет означать возвращение в рамки установленных ПБЭ.

Следует также иметь в виду, что рассмотренная трактовка безопасной эксплуатации и рамок ПБЭ должна коррелироваться с понятием безопасности блока АС, принятым МАГАТЭ.

В [7] приведены следующие определения со ссылкой на документы МАГАТЭ:

- «*Безопасность. Защита всех лиц от чрезмерной радиационной опасности*»;

- «*Ядерная безопасность. Достижение надлежащих эксплуатационных условий, предотвращение аварий и ослабление последствий аварий, благодаря чему обеспечивается защита персонала площадки, населения и окружающей среды от чрезмерной радиационной опасности*».

Отсюда можно заключить, что целью установления рамок ПБЭ с рассмотренной внутренней структурой является защита персонала, населения и окружающей среды от чрезмерной радиационной опасности.

2.1.4. Интерпретация понятия эквивалента пределов безопасной эксплуатации

При рассмотрении понятия рамок ПБЭ в предыдущих разделах постулировалось установление для обоснования безопасной эксплуатации блока АС нескольких ПБЭ.

Очевидно, что для понимания построения рамок ПБЭ необходимо иметь четкое представление о взаимосвязи ПБЭ, образующих рамки безопасной эксплуатации.

В [1] этот вопрос специально не рассматривается. Однако в [1] приведен рисунок 1, который «объясняет и иллюстрирует взаимосвязь между пределами безопасной эксплуатации, уставками систем безопасности и пределами для нормальной эксплуатации (эксплуатационными пределами)». Данный рисунок полностью воспроизведен здесь как рис. 8.

Как отмечено в [1], «для простоты понимания, пример, приведенный на рис. 8, иллюстрирует только один случай, когда в качестве критического параметра рассматривается только температура оболочек» ядерного топлива.

При этом «полагалось, что в отчете по анализу безопасности установлена корреляция между контролируемым параметром (в этом случае температурой теплоносителя) и максимальной температурой оболочки, для которой установлен предел безопасной эксплуатации».

В [1] приводится, что «следует сохранять контролируемый параметр в стационарной области с помощью системы управления или действий оператора в соответствии с эксплуатационными процедурами».

Применительно к кривой 1 на рис. 8 в [1] сообщается, что «контролируемые параметры могут превышать значения стационарной области вследствие, например, изменения нагрузки или разбаланса системы управления. Если температура растет и достигает уставки аварийного сигнала, оператору следует быть готовым и предпринять действия дополняющие действия автоматических систем для снижения температуры до стационарных значений, не позволяя температуре достичь предела для нормальной эксплуатации. Следует принимать во внимание задержку ответных действий оператора».

При объяснении кривой 2 на рис. 8 в [1] приведено, что «пределы для нормальной эксплуатации могут быть выбраны на любом уровне между областью стационарной эксплуатации и уставками для срабатывания систем безопасности на основе результатов анализа безопасности. Считается нормальным иметь запасы между уставками аварийных сигналов и эксплуатационными пределами, для того, чтобы

учесть обычные флуктуации, возникающие при нормальной эксплуатации. Может также существовать зазор между эксплуатационными пределами и уставками для приведения в действие систем безопасности, для того, чтобы дать возможность оператору управлять переходным процессом без запуска систем безопасности. Если достигнуты эксплуатационные пределы и оператор способен предпринять корректирующие действия для предотвращения достижения уставок систем безопасности, то переходный процесс будет иметь вид, представляемый кривой № 2».

Что касается кривой 3 на рис. 8, то в [1] отмечено, что «в случае неправильных действий систем управления или ошибок операторов или по каким-либо другим причинам, контролируемый параметр может достичь уставки систем безопасности в точке А, что приведет к срабатыванию системы безопасности. Ответные действия будут эффективны только в точке В из-за внутренних задержек в приборном обеспечении и оборудовании системы безопасности. Следует обеспечить такую эффективность ответных действий, чтобы предотвратить достижение предела безопасной эксплуатации, хотя локальное повреждение топлива не может быть исключено».

Наконец, по поводу кривой 4 на рис. 8 в [1] сообщается, что «в случае отказа, который выходит за рамки наиболее тяжелых событий, на которые рассчитана станция, либо в случае отказа или многочисленных отказов системы безопасности, может стать возможным превышение температурой оболочек топлива установленных пределов безопасной эксплуатации и, таким образом, может произойти выброс существенного количества радиоактивных веществ. Дополнительные системы безопасности могут быть включены посредством других параметров, чтобы ввести в работу другие технические средства с целью ограничения последствий аварий, и могут быть приняты меры по управлению авариями».

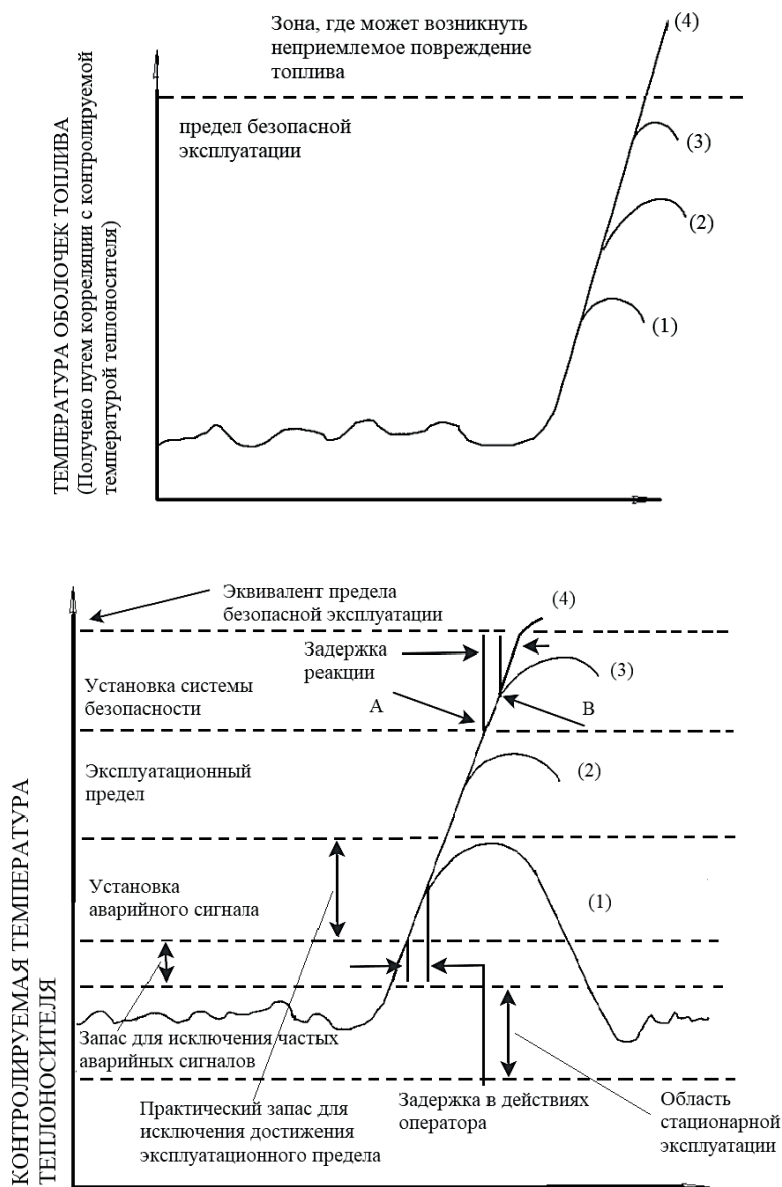


Рис. 8. Соотношение между пределами безопасной эксплуатации, уставками для срабатывания системы безопасности и эксплуатационных пределов [1]

На основании изложенного можно выделить следующие положения, уточняющие содержание понятия ПБЭ:

- в [1] проведено разграничение между «*критическими*» параметрами, для которых устанавливают ПБЭ, и «*контролируемыми*» параметрами, по значениям которых устанавливают уставки для введения в действие СБ;

- при превышении ПБЭ по «*критическим*» параметрам может произойти выброс существенного количества РВ;

- согласно [1] рамки наиболее тяжелых событий находятся внутри рамок установленных ПБЭ (можно полагать, что это относится к наиболее тяжелым исходным событиям аварий);

- при превышении ПБЭ могут быть включены дополнительные СБ для ограничения последствий аварии посредством других параметров;

- для «*контролируемого*» параметра (в данном случае температуры теплоносителя) по корреляционной зависимости (между температурой оболочек топлива и температурой теплоносителя) определяют эквивалент ПБЭ, установленного для «*критического*» параметра.

Очевидно, что, для того чтобы правильно устанавливать рамки ПБЭ, нужно определиться со значением понятия эквивалент ПБЭ.

Графический способ установления эквивалента ПБЭ для «*контролируемого*» параметра по установленному ПБЭ для «*критического*» параметра в элементарном виде показан на рис. 9, на котором зависимости отдельных параметров эксплуатации от времени, как это показано на рис. 8, преобразованы в зависимость между двумя этими параметрами.

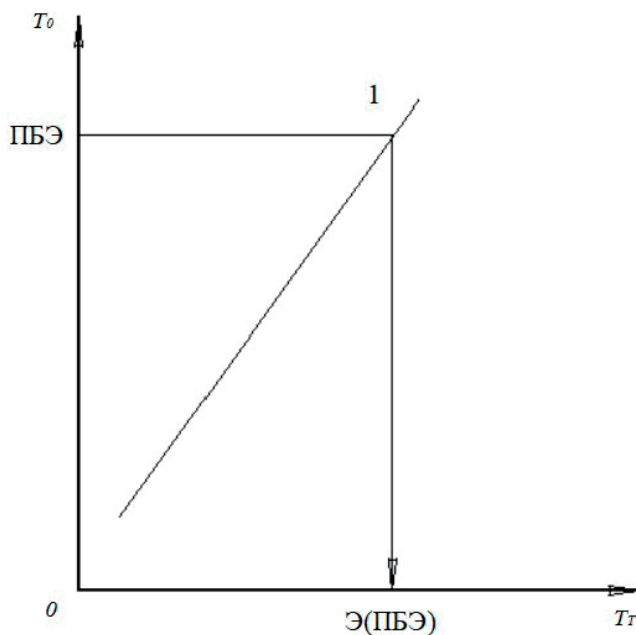


Рис. 9. Схема взаимосвязи между пределами безопасной эксплуатации для температуры оболочки топлива и эквивалентом пределов безопасной эксплуатации для контролируемой температуры теплоносителя

Поскольку, как приведено выше, рис. 8 «объясняет и иллюстрирует взаимосвязь между пределами безопасной эксплуатации» — можно заключить, что:

- отмеченный эквивалент ПБЭ по «контролируемому» параметру может служить в качестве ПБЭ по этому параметру, точнее в качестве верхнего значения возможного диапазона установления ПБЭ по этому параметру, если в качестве приоритетного (реперного) ПБЭ принять ПБЭ по указанному «критическому» параметру;

- все устанавливаемые ПБЭ для станции должны на границах диапазонов возможного варьирования значений параметров быть эквивалентны друг другу, отличие от этих критических эквивалентных значений может иметь место при различном установлении запаса безопасности относительно этих значений;

- нарушение любого установленного граничного по эквиваленту ПБЭ может привести к выбросу существенного количества РВ;

соответственно, при нарушении ПБЭ установленного с запасом безопасности по отношению к граничному по эквиваленту ПБЭ может не привести к выбросу существенного количества РВ;

- запасы безопасности при установлении ПБЭ также могут быть эквивалентны друг другу или являться частями таких эквивалентов;
- также могут быть эквивалентны по значениям уставки для срабатывания СБ и эксплуатационные пределы;
- наибольшие рамки ПБЭ могут быть установлены по граничным эквивалентам для установленных ПБЭ; вместе с тем они будут соответствовать наименьшему запасу безопасности, то есть ПБЭ.

Схема установления ПБЭ с запасом безопасности по отношению к критическому (реперному) ПБЭ и рамки с запасом безопасности по корреляционной зависимости между двумя параметрами эксплуатации показана на рис. 10.

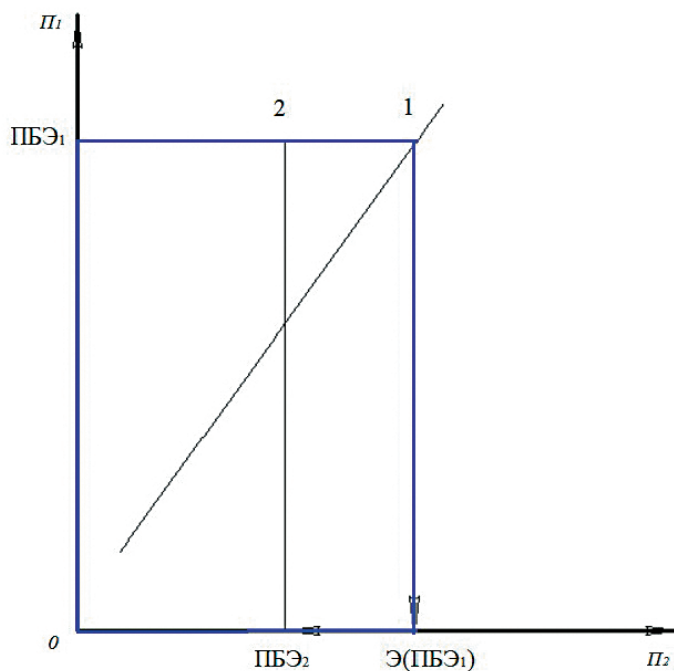


Рис. 10. Схема влияния установления запаса безопасности по значению параметра P_2 на размеры рамки пределов безопасной эксплуатации

Согласно рис. 10 установленный ПБЭ по второму параметру меньше его эквивалентного значения по отношению к ПБЭ, установленному по первому параметру. Соответственно установленный запас безопасности по второму параметру равен разнице между эквивалентом по этому параметру и установленным ПБЭ. В результате установления запаса безопасности по второму параметру рамка ПБЭ уменьшилась с 0-ПБЭ₁₋₁- Э (ПБЭ) до 0-ПБЭ₁₋₂-ПБЭ₂.

2.2. Содержание концепции пределов безопасной эксплуатации для атомных электростанций

2.2.1. Основа концепции

Концепция ПБЭ для АС представлена в [1] как составная часть концепции пределов и условий для эксплуатации. Сама концепция ПБЭ изложена в разделе 4 [1], посвященного специально ПБЭ. Содержание данных пунктов представлено в табл. № 6.

Таблица № 6

Положения концепции пределов безопасной эксплуатации для атомной станции [1]

№	Определение положения концепции
1	Концепция пределов безопасной эксплуатации основана на предотвращении недопустимых выбросов радиоактивных веществ за пределы станции посредством применения пределов, накладываемых на температуру топлива и температуру оболочек, давление теплоносителя, целостность границ контура под давлением и другие эксплуатационные характеристики, влияющие на выход радиоактивных веществ из топлива. Установленные пределы безопасной эксплуатации существуют для того, чтобы защитить целостность определенных физических барьеров, которые противостоят неконтролируемому выбросу радиоактивных веществ. Пределы безопасной эксплуатации следует устанавливать, используя консервативный подход, чтобы гарантировать учет всех неопределенностей анализа безопасности. Это предполагает, что превышение единственного предела безопасной эксплуатации не всегда влечет за собой неприемлемые последствия, упомянутые ранее. Но, несмотря на это, при превышении какого-либо предела безопасной эксплуатации реактор следует остановить и восстанавливать нормальную эксплуатацию следует только после проведения соответствующей оценки и получения одобрения на восстановление эксплуатации в соответствии с процедурами, установленными на станции

№	Определение положения концепции
2	<i>Пределы выбираются так, чтобы для всех условий сохранять целостность оболочек топлива и целостность границы давления контура теплоносителя реактора, обеспечивая, таким образом, отсутствие существования существенных выбросов радиоактивных веществ. Существенным фактором в обеспечении целостности оболочек топлива является нормальное охлаждение топлива. Для этого следует обеспечить отсутствие повреждения границы давления контура теплоносителя реактора. Это предотвращает любую потерю теплоносителя и вызываемое ею снижение эффективности охлаждения</i>
3	<i>Несмотря на то, что целостность защитной оболочки весьма важна для ограничения радиационных последствий аварий, потеря ее целостности сама по себе не приводит к повреждению оболочек топлива. Именно поэтому, данный параметр не включается в пределы безопасной эксплуатации, но его следует включать в перечень пределов и условий для нормальной эксплуатации</i>
4	<i>Температуры топлива и его оболочек следует ограничивать такими значениями, чтобы обеспечить достижение целей проекта относительно распространения повреждений. Пределы безопасной эксплуатации обычно следует устанавливать, как максимально приемлемые значения, которые обеспечивают целостность оболочек топлива с учетом консерватизма. Пределы локальных тепловых потоков для оболочек топлива следует определять и устанавливать так, чтобы гарантировать, что температуры топлива и его оболочек не превысят уровней, при которых может возникнуть повреждение оболочек топлива</i>
5	<i>Пределы безопасной эксплуатации для давления и температуры контура теплоносителя реактора следует устанавливать с учетом их проектных значений</i>

Положение 1 в табл. № 6 представляет собой основу концепции ПБЭ для АС, содержащую:

- цель установления ПБЭ;
- условия установления ПБЭ;
- последствия нарушения ПБЭ.

Если выделить из положения 1 в обобщенном виде ключевые тезисы, то можно представить следующую логическую последовательность, раскрывающую понятие ПБЭ:

1) применение ПБЭ служит для предотвращения недопустимых выбросов РВ за пределы АС;

2) ПБЭ устанавливают для защиты целостности определенных физических барьеров, которые противостоят неконтролируемому выбросу РВ;

3) ПБЭ устанавливают для эксплуатационных характеристик, влияющих на выход РВ из топлива;

4) ПБЭ следует устанавливать с использованием консервативного подхода для гарантированного учета всех неопределенностей анализа безопасности;

5) при установлении ПБЭ с использованием консервативного подхода превышение единственного ПБЭ не всегда приводит к нарушению целостности физических барьеров, которые противостоят неконтролируемому выбросу РВ, и выходу РВ из топлива;

6) при превышении какого-либо ПБЭ реактор следует остановить, провести соответствующую оценку, получить одобрение на восстановление эксплуатации, восстановить нормальную эксплуатацию в соответствии с процедурами, установленными на АС.

Содержание каждого из приведенных выше тезисов может быть представлено более детально следующим образом.

1) Первый тезис, по сути, формулирует основную цель применения установленных ПБЭ – предотвращение недопустимых выбросов РВ за пределы блока АС.

Здесь следует обратить внимание на три аспекта. Во-первых, такая формулировка предполагает, что ПБЭ не устанавливают для случаев допустимых выбросов РВ в пределах установленных норм выбросов. Во-вторых, согласно данной формулировке, учитывается предотвращение недопустимых выбросов РВ только за пределы блока АС. Отношение ПБЭ к недопустимым выбросам внутри площадки блока АС остается неопределенным. В-третьих, здесь речь идет только о предотвращении, а не об исключении недопустимых выбросов РВ посредством применения ПБЭ. То есть применение ПБЭ само по себе не может исключить случаи недопустимых выбросов РВ за пределы блока АС.

Очевидно, что указанная цель должна достигаться при соблюдении установленных ПБЭ. Вместе с тем получается, что предотвращение недопустимых выбросов РВ за пределы блока АС может служить признаком безопасной эксплуатации блока АС.

2) Второй тезис указывает на конкретную цель установления ПБЭ – обеспечение защиты целостности определенных физических барьеров, то есть только таких, которые препятствуют неконтролируемому выбросу РВ. Причем именно любому неконтролируемому выбросу РВ, а не только недопустимому. В соответствии с этим тезисом, установление ПБЭ для других физических барьеров не предусмотрено.

В качестве физических барьеров, для защиты целостности которых устанавливают ПБЭ, в тексте анализируемого положения концепции [1] приведены: оболочки (топлива), контур (теплоносителя) под давлением.

При этом оболочки приведены в данном тексте во множественном числе, а контур – в единственном. Следует также отметить, что эти физические барьеры непосредственно связаны друг с другом посредством теплоносителя. Из данного контекста следует, что неконтролируемый выход РВ происходит в случаях нарушения целостности оболочек (топлива) и (или) контура (теплоносителя) под давлением.

Таким образом, можно заключить, что при соблюдении ПБЭ должна соблюдаться целостность указанных физических барьеров. С другой стороны, соблюдение целостности данных физических барьеров может служить еще одним признаком безопасной эксплуатации блока АС.

3) Третий тезис конкретизирует величины, для которых устанавливают ПБЭ. Это эксплуатационные характеристики блока АС, но не все, а только влияющие на выход РВ из топлива.

В качестве примера эксплуатационных характеристик, для которых устанавливают ПБЭ, в тексте пункта 1 концепции [1] приведены:

- температура топлива;
- температура оболочек;
- давление теплоносителя;
- целостность границ контура под давлением.

Очевидно, что:

- все указанные эксплуатационные характеристики могут влиять на выход РВ из топлива различными способами и в разной степени;
- при соблюдении установленных ПБЭ по этим характеристикам (параметрам) должна соблюдаться целостность оболочек (топлива) и контура (теплоносителя), которые противостоят неконтролируемому выбросу РВ.

Обращает на себя внимание то, что в рассматриваемом тезисе учитываются только эксплуатационные характеристики, влияющие на выход РВ из топлива. Это предполагает, что нарушение целостности контура (теплоносителя), так же как и нарушение других перечисленных эксплуатационных характеристик, может привести к нарушению целостности оболочек (топлива) и выходу РВ из топлива.

Следует также отметить, что в указанном наборе эксплуатационных характеристик не приведены параметры по радиационной безопасности. Это можно объяснить тем обстоятельством, что, в соответствии с данной концепцией, предполагается, что:

- сохраняющие целостность физические барьеры, вмещающие РВ (оболочки топлива), обеспечивают непревышение радиационного воздействия свыше установленных нормативных критериев в течение всего срока безопасной эксплуатации блока АС;

– превышение радиационного воздействия свыше установленных нормативных критериев в течение всего срока безопасной эксплуатации блока АС может происходить только в случае нарушения целостности физических барьеров, вмещающих РВ (оболочек топлива).

4) В данном концептуальном положении представлены условия установления ПБЭ:

– их устанавливают по результатам анализа безопасности блока АС;

– при их установлении учитывают неопределенности (недостаток информации), существенные при обосновании безопасности блока АС;

– при их установлении, вследствие наличия выявленных неопределенностей, используют консервативный подход.

Согласно [14] под консервативным подходом понимают *«подход, когда при анализе безопасности объекта используют значения параметров и характеристик, заведомо приводящие к прогнозу более неблагоприятных результатов»*. Отсюда следует, что при установлении ПБЭ исходят из заведомо более неблагоприятных условий, которые необходимо учитывать для обеспечения безопасности, то есть при установлении ПБЭ создают соответствующий запас безопасности для обеспечения целостности физических барьеров, препятствующих неконтролируемому выбросу РВ на блоке АС.

5) Введение данного положения в концепцию ПБЭ может быть обусловлено следующим обстоятельством.

Поскольку, используя консервативный подход, ПБЭ следует устанавливать с соответствующим запасом безопасности, то этот запас безопасности может оказаться достаточным при нарушении какого-либо одного ПБЭ, что не приведет к нарушению целостности физического барьера и недопустимому выбросу РВ на блоке АС. При одновременном нарушении другого ПБЭ (функционально связанным с первым) принятый совокупный запас безопасности может оказаться недостаточным для обеспечения целостности физического барьера и предотвращения недопустимого выброса РВ за пределы блока АС.

Кроме того, могут быть реализованы варианты, когда нарушение установленного ПБЭ для контура теплоносителя не приведет, с учетом используемого запаса безопасности, к нарушению ПБЭ, установленных для сохранения целостности оболочек топлива, и недопустимому выходу РВ за пределы блока АС.

6) Включение данного требования в концепцию ПБЭ может быть обусловлено следующими обстоятельствами, которые необходимо

учитывать при обеспечении безопасности блока АС и смягчении последствий в результате аварии на блоке АС.

Если при нарушении какого-либо ПБЭ принятый при его установлении запас безопасности оказался достаточным, то безопасный останов АС приведет к сохранению условий эксплуатации и недопущению аварийных состояний блока АС. Если же при нарушении какого-либо ПБЭ произойдет нарушение целостности физического барьера, внутри которого находится РВ, то наиболее оптимальный для данных условий останов АС приведет к снижению последствий радиационной опасности, по сравнению со случаем развития аварийной ситуации при отсутствии останова АС.

Это не исключает варианта, когда неправильный останов АС может спровоцировать развитие аварийной ситуации. В любом случае вовремя не остановленная АС при нарушении ПБЭ приведет к наиболее тяжелым последствиям от радиационной опасности, по сравнению с остановкой АС.

2.2.2. Поясняющие положения концепции пределов безопасной эксплуатации

Изложенная выше основа дополнена в рассматриваемой концепции [1] рядом концептуальных положений, позволяющих более четко представить употребляемое понятие ПБЭ. Формулировки этих положений приведены в пп. 2–5 табл. № 6.

Так, положения концепции ПБЭ, изложенные в п. 2 табл. № 6, конкретизируют задачи установления ПБЭ для блока АС следующим образом. ПБЭ (параметры и их количество) выбирают:

- для сохранения целостности оболочек топлива;
- для сохранения целостности границы давления контура теплоносителя;
- применительно ко всем условиям эксплуатации блока АС.

Приоритетом в решении этих задач является сохранение целостности оболочек топлива, которое обеспечивается нормальным (надежным) охлаждением топлива для всех условий эксплуатации.

В свою очередь, надежное охлаждение топлива обеспечивается отсутствием повреждения границы давления контура теплоносителя реактора, которое:

- предотвращает потерю теплоносителя в контуре;
- не приводит к снижению эффективности охлаждения топлива из-за потери теплоносителя.

Можно отметить, что в данном положении концепции рассмотрены по сути два типа ПБЭ:

- целевые ПБЭ, непосредственно связанные с предотвращением недопустимых выбросов РВ из блока АС;
- обеспечивающие ПБЭ, которые служат для обеспечения соблюдения целевых ПБЭ.

Положение концепции ПБЭ, приведенное в п. 3 табл. № 6, обосновывает ограничение по количеству устанавливаемых ПБЭ на примере установления ПБЭ для оболочки топлива.

Согласно этому положению, ПБЭ не устанавливают для физических барьеров, непосредственно не содержащих РВ и не влияющих на целостность физических барьеров, которые содержат РВ. Обоснованием для этого служит то, что потеря целостности защитной оболочки (внешней по отношению к физическим барьерам, содержащим РВ) сама по себе не приводит к повреждению целостности оболочек топлива и недопустимому выбросу РВ за пределы блока АС.

При этом следует отметить, что потеря целостности внешних физических барьеров может:

- повысить уровень радиационной опасности при сохранении целостности оболочек топлива;
- ухудшить радиационные последствия аварий в случаях нарушения целостности оболочек топлива.

Применительно к предотвращению потери целостности внешних физических барьеров рекомендуется устанавливать пределы для нормальной эксплуатации, то есть не использовать в данном случае консервативный подход в отношении установления ПБЭ, а использовать принцип соразмерности применения мер обеспечения безопасности для выявленной потенциальной опасности.

В следующем п. 4 табл. № 6 приведено положение концепции ПБЭ, которое поясняет выбор устанавливаемого значения целевых ПБЭ для оболочек топлива (физических барьеров, внутри которых находятся РВ).

В этом случае ПБЭ следует устанавливать:

- как максимально приемлемые значения, обеспечивающие целостность оболочек топлива;
- с учетом консервативного подхода;
- так, чтобы гарантировать, что температура топлива и его оболочек не превысят уровней, при которых может возникнуть повреждение оболочек топлива.

Здесь следует обратить внимание на необходимость одновременного соблюдения приемлемости и гарантии устанавливаемых

значений ПБЭ по отношению к обоснованию безопасной эксплуатации блока АС. Для гарантированного предупреждения (исключения) повреждения оболочек топлива необходимо, используя консервативный подход, установить такой запас безопасности, чтобы обеспечить неперевышение ПБЭ.

Согласно анализируемой концепции ПБЭ при выборе этого запаса безопасности следует исходить из установления максимально приемлемого значения ПБЭ, то есть такого значения, для которого частота нарушения ПБЭ будет соответствовать принятому критерию приемлемости применительно к принятой системе защиты от нарушения ПБЭ.

Следует также обратить внимание на фразу *«обычно следует устанавливать»*. Данная концепция допускает и другие возможные случаи установления ПБЭ.

Наконец, в последнем пункте табл. № 6 приведено положение концепции ПБЭ блока АС, поясняющее выбор устанавливаемых значений для обеспечивающих ПБЭ. Согласно данному положению, обеспечивающие ПБЭ (для давления и температуры контура теплоносителя реактора) следует устанавливать с учетом их проектных значений (то есть с учетом запроектированного оборудования).

Это положение сформулировано (или переведено на русский язык) недостаточно ясно и его можно трактовать по-разному. Однако, в примере для объяснения некоторых использованных терминов, приведенном в [1], на рис. 8 показано соответствие между ПБЭ для температуры оболочек топлива и эквивалентом ПБЭ для контролируемой температуры теплоносителя.

Отсюда можно заключить, что указанные проектные значения могут относиться к определенным в проекте значениям обеспечивающих ПБЭ, эквивалентным значениям целевых ПБЭ. В таком случае можно считать, что целевые ПБЭ устанавливают исходя из анализа безопасности, а обеспечивающие ПБЭ – из принятых в проекте показателей надежности оборудования и СБ с учетом необходимого запаса безопасности по отношению к упомянутым эквивалентам ПБЭ.

2.3. Содержание положений концепции пределов и условий эксплуатации

2.3.1. Общие признаки пределов и условий эксплуатации и пределов безопасной эксплуатации

Согласно п. 3.5 [1] на блоке АС пределы безопасности, а, следовательно, и ПБЭ, входят (включены) в систему ПУЭ. В связи с этим

положения концепции ПУЭ, приведенной в [1], охватывают также аспекты, относящиеся к ПБЭ.

Это обстоятельство позволяет выделять из положений концепции ПУЭ содержательную часть, относящуюся к ПБЭ, и тем самым получать дополнительную информацию о понятии ПБЭ и возможностях их применения для обеспечения безопасности блока АС. При этом, прежде чем приступить к рассмотрению концепции ПУЭ, целесообразно ознакомиться с целями безопасности, которые должны достигаться при использовании ПУЭ.

Эти цели изложены в разделе 2 [1], и применительно к раскрытию понятия ПБЭ информацию, содержащуюся в этом разделе, можно сформулировать в виде следующих тезисов:

- установление ПУЭ (ПБЭ) направлено для достижения основной цели обеспечения безопасности АС: на предотвращение ситуаций, возникновение которых может привести к аварийным условиям, и на ослабление последствий, которые могут возникнуть в результате аварийных ситуаций;
- ПУЭ (ПБЭ) предназначены для контроля за эксплуатацией АС;
- ПБЭ входят в состав набора ПУЭ;
- ПУЭ (ПБЭ) получают (устанавливают) исходя из анализа безопасности АС;
- ПБЭ определяют границы безопасной эксплуатации АС;
- ПУЭ (ПБЭ) должны быть при необходимости пересмотрены на основании опыта, полученного из испытаний при вводе в эксплуатацию и (выводе) из эксплуатации АС;
- при установлении ПУЭ (ПБЭ) должны учитываться минимальные требования к работоспособности оборудования и персонала.

Рассмотрение указанных выше концептуальных положений позволяет отметить:

- дополнительную цель установления ПБЭ: для контроля за обеспечением безопасности и немедленного принятия мер безопасности при нарушении ПБЭ;
- исходную информацию, необходимую для установления ПБЭ: результаты анализа безопасности АС и результаты испытаний при вводе АС в эксплуатацию и выводе АС из эксплуатации;
- используемую на АС глубокоэшелонированную защиту, предшествующую достижению ПБЭ: наличие набора пределов и условий, обеспечивающих соблюдение этих ПБЭ;
- раскрытие аспекта консервативного подхода, используемого при установлении ПБЭ: ПБЭ устанавливают с учетом минимально возможных

характеристик применяемого оборудования и квалификации персонала с точки зрения способности предотвращения нарушения ПБЭ (то есть с учетом максимально неблагоприятных условий эксплуатации АС).

Сама концепция ПУЭ представлена в [1] в семи подразделах (3.1–3.7). Рассмотрение этих подразделов позволяет сформулировать следующие концептуальные положения, относящиеся к понятию ПБЭ:

- ПУЭ (ПБЭ), которые должны предотвращать ситуации, ведущие к авариям, или ослаблять последствия аварий, если они возникнут – должны быть ясно определены в отчете по анализу безопасности АС (п. 3.1 [1]);

- ПУЭ (ПБЭ) должны устанавливать для различных эксплуатационных состояний, включая останов реактора, в набор которых входит: пуск, эксплуатация, техобслуживание, испытания, перегрузка (п. 3.2 [1]);

- СБ (обеспечивающие соблюдение ПБЭ), включая технические средства безопасности, должны выполнять все необходимые функции безопасности во всех эксплуатационных состояниях и при проектных авариях (п. 3.2 [1]);

- ограничения по ПУЭ (ПБЭ) должны соблюдаться посредством использования технических аспектов (средств) систем, важных для безопасности, способных выполнять свои функции в соответствии с отчетом по анализу безопасности АС (п. 3.3 [1]);

- соблюдение ПУЭ (ПБЭ) зависит как от персонала, так и от оборудования (п. 3.3 [1]);

- действия оперативного персонала должны дополнять действия оборудования для соблюдения установленных ПУЭ (ПБЭ) (п. 3.4 [1]);

- устанавливаемым значениям ПБЭ предшествуют уставки СБ и пределы для нормальной эксплуатации (п. 3.5 [1]);

- ПБЭ входят в логическую систему взаимосвязи ПУЭ (п. 3.6 [1]);

- ПБЭ составляют предельную границу безопасных условий (п. 3.6 [1]);

- технические основы ПУЭ (ПБЭ) должны быть документированы и доступны для изучения оперативным персоналом (п. 3.6 [1]);

- при отсутствии уверенности оперативного персонала в соблюдении ПБЭ следует принять меры для приведения АС в безопасное состояние (п. 3.7 [1]).

Рассмотрение приведенных концептуальных положений (помимо неизбежных повторов) показывает, что:

- установленные ПБЭ не должны нарушаться для всех возможных эксплуатационных состояний за счет надежности использования СБ;

- соблюдение ПБЭ обеспечивается надежностью используемого оборудования и высокой квалификацией персонала; использование глубокоэшелонированного предупреждения нарушения ПБЭ (в том числе использованием эксплуатационных пределов, уставок СБ);

- для повышения надежности соблюдения ПБЭ они должны быть однозначно понимаемы и определяемы при контроле за ними персоналом; в противном случае, согласно консервативному подходу, ПБЭ могут быть нарушены.

2.3.2. Особенности разработки пределов и условий эксплуатации и пределов безопасной эксплуатации

Важную информацию об установлении ПБЭ можно получить из подразделов «Разработка пределов и условий для эксплуатации» [1], входящих в один раздел с подразделом «Концепция пределов и условий для эксплуатации». Представленные в подразделах 3.8–3.16 [1] концептуальные положения можно детализировать применительно к раскрытию понятия ПБЭ следующим образом:

- ПУЭ (ПБЭ) должны устанавливаться на основе анализа безопасности АС и ее окружающих условий в соответствии с техническими средствами, предусмотренными в проекте (п. 3.8 [1]);

- при определении ПУЭ (ПБЭ) следует учитывать неопределенности, возникающие при выполнении анализа безопасности АС (п. 3.8 [1]);

- установленные ПУЭ (ПБЭ) следует подвергать экспертизе, и, при необходимости, корректировать на основе испытаний при вводе в эксплуатацию АС (п. 3.8 [1]);

- для каждого ПУЭ (ПБЭ) следует представить обоснование (доступное в чтении) в виде письменного указания причины его выбора, а также соответствующую исходную информацию (п. 3.8 [1]);

- разработку исходных ПУЭ (ПБЭ) следует проводить в сотрудничестве с проектировщиками задолго до начала эксплуатации АС (п. 3.9 [1]);

- оценку и одобрение ПУЭ (ПБЭ) осуществляет регулирующий орган (п. 3.9 [1]);

- обеспечение соблюдения ПУЭ (ПБЭ) поддерживает эксплуатационный персонал и осуществляется при надзоре в соответствии с требованиями (п. 3.10 [1]);

- ПУЭ (ПБЭ) должны быть ясно изложены для ответственного оперативного персонала (п. 3.11 [1]);

- ПУЭ (ПБЭ) должны определять с помощью измеряемых или непосредственно определяемых параметров или наиболее удобным способом: с помощью таблиц, диаграмм, компьютерных программ (п. 3.11 [1]);

- ПУЭ (ПБЭ) должны устанавливать таким образом, чтобы в любой ситуации было ясно: возникает или не возникает его нарушение (п. 3.11 [1]);

- надежное использование ПУЭ (ПБЭ) связано с ясным представлением и исключением двусмысленности понимания оперативным персоналом для исключения ошибки персонала (п. 3.12 [1]);

- любые модификации ПУЭ (ПБЭ) следует подвергать экспертизе, оценке и одобрению регулирующего органа (п. 3.13 [1]);

- временное модифицирование ПУЭ (ПБЭ) требует такого же уровня оценки и одобрения, как и долговременное изменение ПУЭ (ПБЭ) (п. 3.14 [1]);

- приемлемый альтернативный подход следует предпочесть временной модификации ПУЭ (ПБЭ) (п. 3.14 [1]);

- следует проводить периодические пересмотры ПУЭ (ПБЭ), даже если АС не подвергается модификации (п. 3.15 [1]);

- для оптимизации ПУЭ (ПБЭ) следует рассматривать применение вероятностных оценок безопасности (п. 3.16 [1]).

Из всего представленного выше перечня концептуальных положений можно выделить следующие аспекты:

- каждый установленный ПБЭ (исходный или модифицированный) должен быть обоснован, на него должно быть получено положительное экспертное заключение и одобрение регулирующего органа;

- в соответствии с консервативным подходом при установлении ПБЭ по результатам детерминированного или вероятностного анализа безопасности должны учитываться неопределенности в исходных данных, в поведении реакционной системы, воздействии окружающей среды, технических возможностей;

- обеспечение соблюдения ПБЭ контролируется при осуществлении надзора за обеспечением безопасности АС;

- определение достижения ПБЭ должно осуществляться наиболее удобным способом для оперативного персонала;

- для повышения качества безопасности следует периодически оценивать возможности оптимизации ПБЭ.

Дополнительную информацию по раскрытию содержания понятия ПБЭ можно также почерпнуть в разделах «Установки систем безопасности»

и «Пределы и условия для нормальной эксплуатации» [1], в которых употребляется термин ПБЭ. Применительно к содержанию концептуальных положений ПБЭ ее можно сформулировать следующим образом:

- уставки СБ устанавливают для ряда параметров, в том числе включенных в ПБЭ (п. 5.1 [1]);
- превышение таких уставок будет вызывать останов реактора с целью подавления переходного процесса (п. 5.1 [1]);
- превышение других уставок приведет к другим действиям автоматики с целью предупреждения превышения ПБЭ; некоторые из них предусмотрены для того, чтобы инициировать действия технических СБ для ограничения развития ожидаемого нарушения нормальной эксплуатации (п. 5.1 [1]);
- пределы и условия нормальной эксплуатации предназначены для гарантии того, что предположения, принятые в отчете по анализу безопасности, правильны, а ПБЭ не превышаются при эксплуатации АС (п. 6.1 [1]);
- дополнительно следует обеспечить приемлемые запасы между значениями пределов для нормальной эксплуатации и принятыми уставками СБ, чтобы исключить частые срабатывания СБ (п. 6.1 [1]).

Приведенная дополнительная информация свидетельствует о том, что:

- для соблюдения ПБЭ используют особые СБ (защитные), при превышении уставок которых следует осуществлять останов реактора;
- другие СБ и установленные пределы нормальной эксплуатации входят в состав глубокоэшелонированного предупреждения нарушения ПБЭ (предупреждения неконтролируемого изменения значений параметров эксплуатации АС).

2.4. Обобщенная структура концепции пределов безопасной эксплуатации, принятой Международным агентством по атомной энергии

Результаты анализа и систематизации концептуальных положений, изложенных в самой концепции ПБЭ и вмещающей ее концепции ПУЭ, позволяют в общем виде представить особенности построения структуры этой концепции МАГАТЭ. Ядро и уровни предлагаемой к рассмотрению обобщенной структуры концепции МАГАТЭ представлены на рис. 11–15.

Основу структуры концепции ПБЭ можно представить в виде пяти исходных элементов в той последовательности, как это показано на рис. 11.

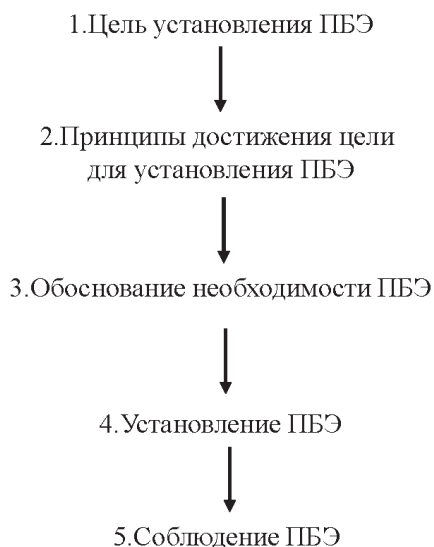


Рис. 11. Принципиальная схема основы структуры концепции пределов безопасной эксплуатации, принятой МАГАТЭ

Первым системообразующим элементом является цель применения ПБЭ, которая непосредственно связана с установленными критериями для обеспечения ЯРБ.

Ко второму элементу относятся принципы установления ПБЭ, употребляемые для достижения поставленной цели. Эти принципы обозначают требуемые функции безопасности, которые необходимо осуществить для обеспечения выполнения цели установления ПБЭ.

Третий элемент связан с обоснованием условий, делающих необходимым выполнение функций безопасности для достижения цели установления ПБЭ в соответствии с принятыми принципами. Такое обоснование необходимости установления ПБЭ осуществляется на основе проводимого анализа безопасности.

Четвертый элемент относится к требованиям по установлению ПБЭ для параметров, обоснованных по результатам анализа безопасности, то есть к установлению ограничений для значений выбранных параметров, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию при выполнении требуемых для этого условий (условий безопасной эксплуатации).

Пятый элемент раскрывает условия соблюдения установленных ПБЭ при осуществлении безопасной эксплуатации и действия при возможном их нарушении, что непосредственным образом связано с требуемым для этого уровнем культуры безопасности.

Структурные схемы, раскрывающие уровни понятия этих исходных пяти элементов, исходя из рассматриваемой концепции ПБЭ, показаны на рис. 12–15. Рассмотрим их в порядке принятой нумерации на рис. 11.

В концепции ПБЭ сформулирована одна цель для установления ПБЭ (рис. 12), характеризующая основную опасность, исходящую от ОИАЭ. Это целью является предотвращение недопустимого выброса РВ, представляющего радиационную опасность.



Рис. 12. Принципиальная схема выполнения основных функций безопасности по концепции пределов безопасной эксплуатации, принятой Международным агентством по атомной энергии

Достижение этой цели, в соответствии с концепцией ПБЭ, обеспечивается реализацией одного принципа, который применяется для двух взаимосвязанных функций обеспечения безопасности систем, содержащих РВ (рис. 12). Этим принципом является предотвращение нарушения целостности физического барьера, содержащего внутри себя РВ. Согласно этому принципу, при сохранении целостности такого физического барьера РВ должны быть надежно локализованы в нем, что должно исключать недопустимых выбросов из него РВ.

Понятие этого принципа детализируется на первом концептуальном уровне: предотвращение нарушения целостности физических барьеров относится конкретно к оболочкам топлива и границам давления контура теплоносителя.

Следующий концептуальный уровень поясняет способ обеспечения целостности оболочек топлива: это обеспечение их нормального охлаждения теплоносителем в случае предотвращения нарушения целостности контура теплоносителя, находящегося под давлением.

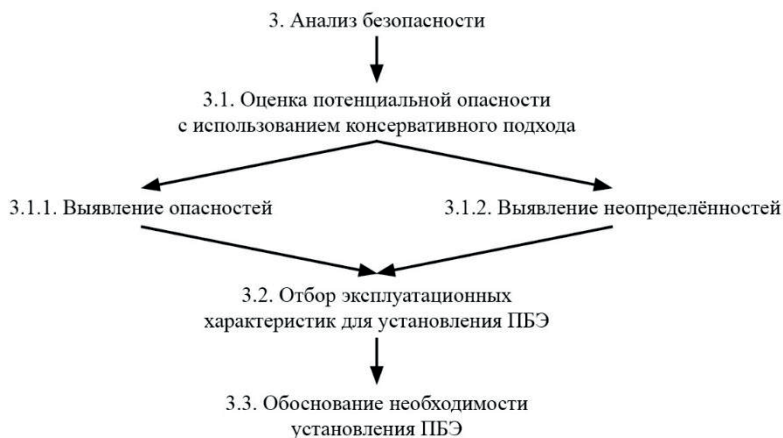


Рис. 13. Принципиальная схема анализа безопасности по концепции пределов безопасной эксплуатации, принятой Международным агентством по атомной энергии

Концептуальная структура третьего исходного элемента (рис. 13) состоит из трех понятийных уровней соответственно следующей последовательности:

- оценка с использованием консервативного подхода факторов, способных приводить к нарушению целостности указанных двух физических барьеров. Пояснение этого концептуального уровня включает две составляющие: выявление собственно опасных факторов и выявление неопределенностей (недостаточной информации), связанных с управлением этими факторами;

- определение параметров, в диапазоне изменения значений которых могут возникать неприемлемые опасности, связанные с возможным нарушением целостности физических барьеров, то есть определение необходимых ограничений по значениям таких параметров для предотвращения нарушения целостности физических барьеров, содержащих РВ;

– обоснование необходимого набора таких параметров, возможные значения которых будут неприемлемы для осуществления функций безопасности.

Наиболее разветвленной представлена в концепции ПБЭ внутренняя структура четвертого исходного элемента (рис. 14). Она включает пять составляющих, два из которых содержат дополнительные подуровни:

– дифференцированный подход при установлении ПБЭ к обоснованию предельных значений двух типов параметров эксплуатации, при изменении значений которых может быть нарушена целостность указанных физических барьеров.

Первый тип параметров эксплуатации (условно указанный на схеме как приоритетный) можно трактовать, как относящийся к параметрам, непосредственно влияющим на нарушение целостности этих физических барьеров. Для этого типа параметров устанавливают максимально приемлемые (по надежности) ПБЭ.

Второй тип параметров можно трактовать как относящийся к параметрам, функционально связанным с параметрами первого типа. Для них устанавливают ПБЭ в соответствии с принятыми в проекте техническими решениями (типом применяемых оборудования и СБ). При таком подходе нарушение ПБЭ второго типа может приводить к нарушениям ПБЭ первого типа;

– обоснование требуемой надежности необходимого набора систем, обеспечивающих условия безопасной эксплуатации, то есть обеспечивающих установленные ограничения для выбранных с целью обеспечения безопасности значений параметров эксплуатации.

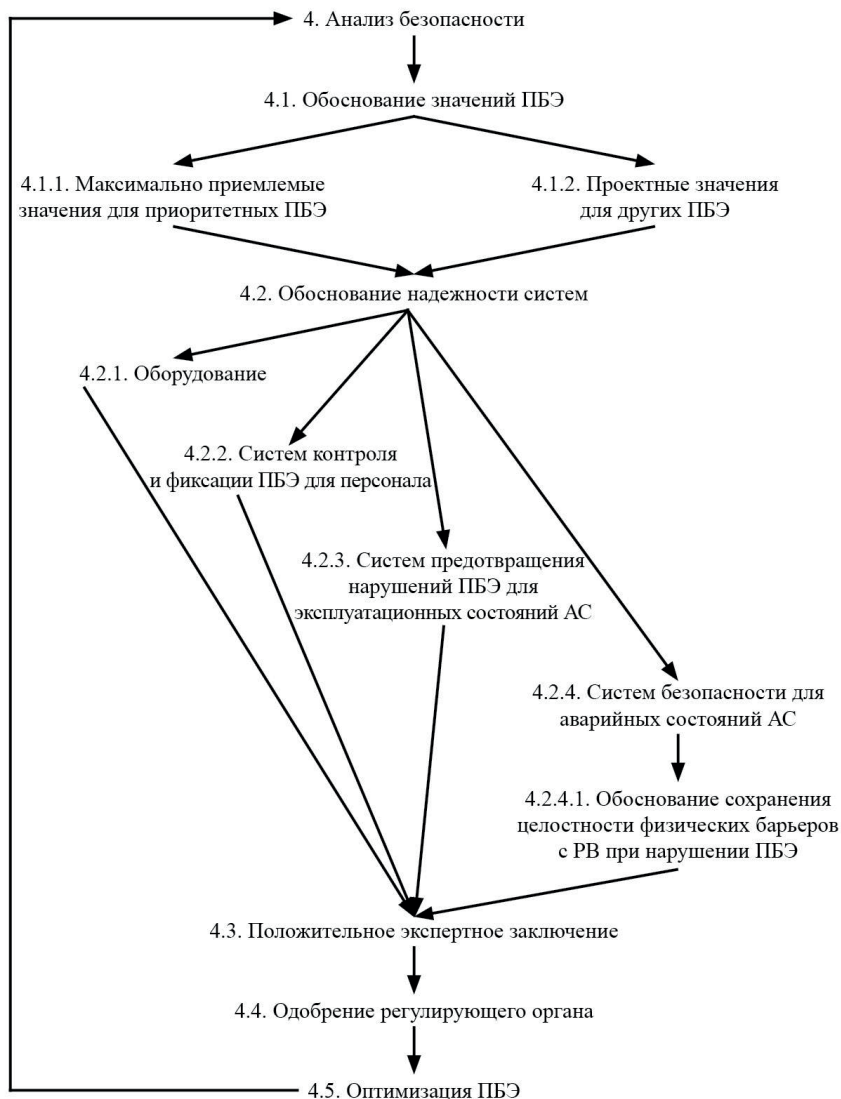


Рис. 14. Принципиальная схема установления пределов безопасной эксплуатации по концепции, принятой Международным агентством по атомной энергии

Концептуальная структура этого уровня состоит из четырех подуровней, в соответствии с которыми системами, для которых должна быть обоснована надежность, являются:

1) технологическое оборудование, надежность которого должна обеспечить целостность физических барьеров, содержащих РВ;

2) система контроля за изменениями значений параметров, по которым установлены ПБЭ, чтобы четко фиксировать факт нарушения ПБЭ;

3) система управления значениями параметров, по которым установлены ПБЭ, чтобы обеспечивать возвращение технологического процесса в состояние нормальной эксплуатации при возникающих отклонениях от этого состояния;

4) СБ для предотвращения нарушения ПБЭ при приближении значений параметров эксплуатации к установленным ПБЭ.

Для последнего концептуального подуровня в концепции МАГАТЭ установлено требование по обеспечению надежности применяемых систем безопасности: сохранение целостности физического барьера, содержащего РВ, должно обеспечиваться даже при нарушении одного из установленных ПБЭ;

- подтверждение правильности установления (обоснования) ПБЭ и обеспечения их соблюдения (обоснования надежности указанных систем) по результатам независимой оценки;

- утверждение установленных ПБЭ для практического использования органом надзора за обеспечением безопасности;

- допущение возможности корректировки установленных ПБЭ в случае возникновения необходимости с обязательным последующим выполнением всего цикла приведенных на схеме процедур по установлению уточненных ПБЭ.

Внутренняя структура пятого элемента ядра концепции МАГАТЭ, связанного с содержанием понятия соблюдения ПБЭ, показана на рис. 15.

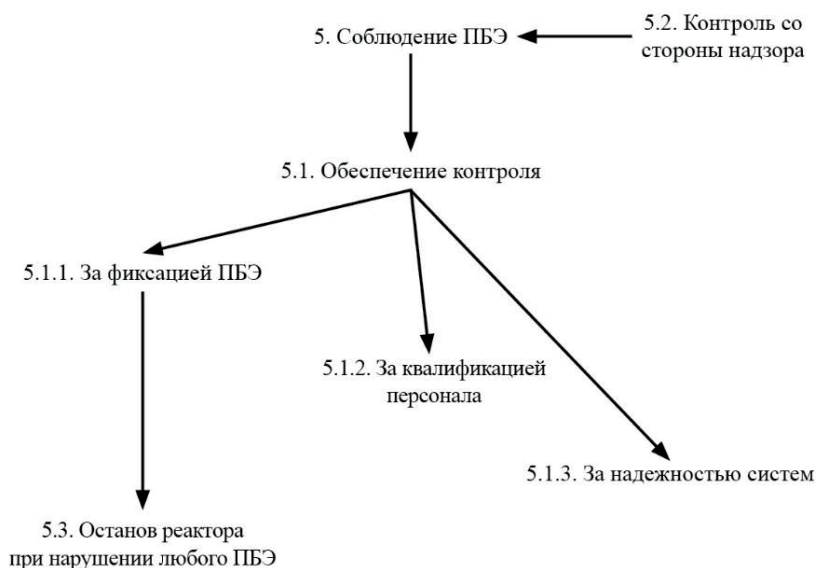


Рис. 15. Принципиальная схема соблюдения пределов безопасной эксплуатации по концепции, принятой Международным агентством по атомной энергии

Она состоит из трех концептуальных уровней:

1) обеспечение контроля за соблюдением (не превышением) ПБЭ, в понятие которого входят: обеспечение контроля за обеспечением точного установления факта достижения ПБЭ; поддержание необходимой квалификации персонала для обеспечения надежного управления за изменением значений параметров, по которым установлены ПБЭ; обеспечение контроля за изменением надежности систем, обеспечивающих соблюдение ПБЭ;

2) осуществление независимого контроля со стороны надзора за обеспечением ЯРБ;

3) осуществление останова реактора при нарушении любого ПБЭ, чтобы сохранить целостность физического барьера, содержащего РВ, при надежном срабатывании СБ в случае нарушения одного ПБЭ.

На основании приведенной структуры концепции ПБЭ можно расширить определение ПБЭ, рассмотренное в разделе 1.1. В этом разделе приведено краткое определение ПБЭ, которое соответствует применяемым определениям в нормативных документах и удобно для применения

регулирующими органами в области ЯРБ. Однако, как было рассмотрено при знакомстве с концепцией ПБЭ, оно вносит значительные неопределенности для точного понимания в случае его практического нормативного применения.

С учетом используемой трактовки обобщенной структуры концепции ПБЭ это краткое определение можно далее (по сравнению с приведенным в п. 2.1.1 настоящей книги) расширить следующим образом: ПБЭ – установленные проектом (на основе анализа безопасности с использованием консервативного подхода) с целью предотвращения недопустимого выброса РВ посредством исключения нарушения целостности физических барьеров, содержащих РВ, – одобренные органом регулирования безопасности пределы значений набора параметров эксплуатации, в рамках которых и при обеспечении достаточной квалификации персонала и надежности применяемых систем для их соблюдения обоснована безопасная эксплуатация блока АС.

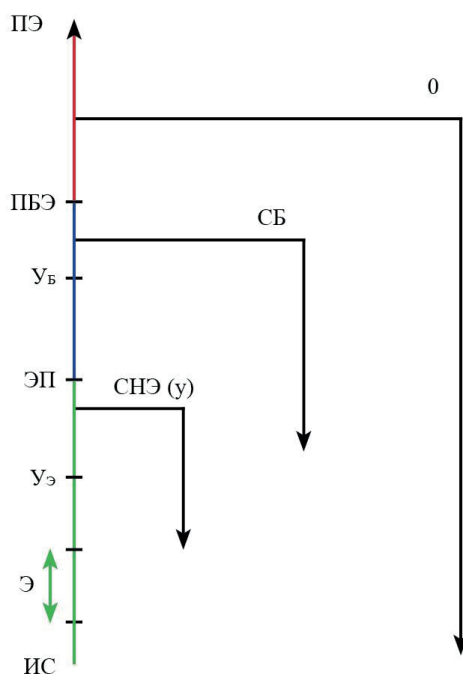


Рис. 16. Схема управления за соблюдением пределов безопасной эксплуатации

Принципиальная схема управления за соблюдением ПБЭ, в соответствии с данной концепцией, приведена на рис. 16, на котором используются следующие обозначения:

ПЭ – параметр эксплуатации;

ПБЭ – предел безопасной эксплуатации;

У_б – уставка ПБЭ;

Э – эксплуатация;

ЭП – эксплуатационный предел;

У_э – уставка ЭП;

ИС – исходное состояние по параметру;

О – останов процесса;

СБ – система безопасности;

СНЭ (У) – управляющая система нормальной эксплуатации.

Согласно рис. 16:

- для непревышения установленных ЭП по достижении уставок для них используют управляющие системы нормальной эксплуатации;

- в случае превышения ЭП для не превышения установленных ПБЭ используют СБ, которые начинают функционировать при достижении уставок для ПБЭ.

Что касается трактовки ситуаций при нарушениях ПБЭ, то в соответствии с рассматриваемой концепцией:

- при правильно установленных ПБЭ: нарушение одного из набора установленных ПБЭ не должно приводить к нарушению целостности физических барьеров, непосредственно вмещающих РВ, а, соответственно, нарушение нескольких ПБЭ будет приводить к нарушению их целостности;

- при нарушении любого ПБЭ следует осуществить останов реактора и провести новый анализ безопасности для оптимизации устанавливаемых ПБЭ.

В своей совокупности рассмотренные принципиальные схемы создают основу структуры концепции МАГАТЭ, принятой для АС. Очевидно, что элементы этих схем могут быть дальше более подробно конкретизированы в соответствии с неучтенными в этих схемах положениями, изложенными в концепции [1].

2.5. Применение концепции пределов безопасной эксплуатации для установок ядерного топливного цикла

В документе МАГАТЭ по обеспечению безопасности ЯТЦ [8] приведены сведения, относящиеся к ПБЭ. В связи с этим представляет интерес, насколько эти сведения соответствуют рассмотренной концепции ПБЭ для АС, принятой МАГАТЭ.

Для ПБЭ в тексте [8] (в составе эксплуатационных пределов), помимо отдельных упоминаний, специально установлены два требования:

- требование 18. Нормирование эксплуатационных пределов и условий;

- требование 57. Эксплуатационные пределы и условия.

В соответствии с требованием 18 [8]: *«эксплуатационные пределы и условия должны быть определены на стадии проектирования, подтверждены на стадии ввода в эксплуатацию и установлены до начала эксплуатации установки».*

При раскрытии содержания этого требования в [8] приведены следующие положения:

- *«эксплуатационные пределы и условия представляют собой совокупность правил, которые определяют пределы параметров, функциональный потенциал и уровни работоспособности оборудования и персонала для обеспечения безопасной эксплуатации установки»;*

- *«эксплуатационные пределы и условия, необходимые для безопасной эксплуатации, должны разрабатываться на стадии проектирования новой установки и обновляться при необходимости в ходе ввода в эксплуатацию, чтобы оставалось время для валидации и утверждения»;*

- *«отчет о проведении анализа безопасности должен содержать описание допущений и служить основой для эксплуатационных пределов и условий, указанных в лицензионной документации».*

Соответственно, требование 57 сформулировано в [8] следующим образом: *«эксплуатирующая организация должна обеспечивать эксплуатацию установки ядерного топливного цикла в соответствии с определенным набором эксплуатационных пределов и условий».*

Для пояснения данного требования в [8] приведены следующие положения, которые, в связи с тем, что они относятся к ОЯТЦ, приведены полностью:

- *«установка должна эксплуатироваться с соблюдением полного набора эксплуатационных пределов и условий с целью исключения ситуаций, способных приводить к ожидаемым при эксплуатации событиям или аварийным условиям, и смягчения последствия таких событий в случае их возникновения»;*

- *«эксплуатирующая организация должна разработать эксплуатационные пределы и условия на основе анализа безопасности с использованием дифференцированного подхода, обеспечивающие эксплуатацию установки в соответствии с проектными допущениями и проектными целями, а также с соблюдением условий ее лицензии»;*

– «эксплуатационные пределы и условия, включая пределы безопасности, уставки системы безопасности и ограничительные условия безопасной эксплуатации, подлежат рассмотрению комитетом по безопасности»;

– «до начала эксплуатации эксплуатационные пределы и условия должны представляться регулирующему органу вместе с лицензионной документацией для оценки и утверждения, если регулирующий орган требует этого»;

– «эксплуатационная организация должна вести достаточный объем учетной документации для демонстрации соблюдения эксплуатационных пределов и условий»;

– «должны соблюдаться установленные пределы безопасности с целью обеспечения надлежащей защиты целостности физических барьеров, предохраняющих от воздействия излучения и неконтролируемого выброса радиоактивного материала»;

– «для каждого параметра, для которого требуется предел безопасности, и для других важных параметров, связанных с безопасностью, должна предусматриваться система, которая контролирует параметр и подает сигнал (который может использоваться в автоматическом режиме, если это возможно) для предупреждения о превышении параметром установленного предела безопасности»;

– «уставкой системы безопасности является уровень параметра, при достижении которого происходит автоматическое срабатывание системы безопасности и который обеспечивает минимальный приемлемый запас безопасности. Этот запас безопасности будет учитывать, в частности, переходные режимы системы, время реакции оборудования и погрешности измерительных приборов»;

– «ограничительные условия безопасной эксплуатации – это условия, установленные для обеспечения приемлемых запасов между нормальными эксплуатационными значениями и уставками систем безопасности для узлов (элементов), важных для безопасности»;

– «ограничительные условия безопасной эксплуатации должны включать пределы эксплуатационных параметров, минимальные потребности в работоспособном оборудовании и численности персонала, а также действия, которые надлежит выполнять эксплуатационному персоналу для того, чтобы исключить необходимость срабатывания систем безопасности»;

– «должны быть установлены ограничительные условия безопасной эксплуатации при выдаче разрешения на перемещение опасных

(радиоактивных, делящихся или химически активных) материалов между зданиями. Такое перемещение должно осуществляться только при подтверждении безотказного принятия материала операторами в принимающем здании до начала акта передачи»;

– «должны быть установлены требования по частоте проведения и масштабам периодического тестирования и контроля в отношении всех узлов (элементов), важных для безопасности, с целью обеспечения соблюдения эксплуатационных пределов и условий, уставок систем безопасности и ограничительных условий безопасной эксплуатации»;

– «если эксплуатация установки отклоняется от одного или нескольких значений эксплуатационных пределов и условий, должны применяться корректирующие меры, и регулирующий орган должен быть уведомлен об этом»;

– «должны быть определены действия, которые надлежит выполнить оператор в течение определенного периода времени, в случае нарушения ограничительного условия безопасной эксплуатации. Руководство установки должно провести расследование причин и последствий и должно принять меры с тем, чтобы исключить повторение подобных событий. Регулирующий орган должен быть своевременно извещен об этом»;

– «обязанности по осуществлению административного контроля за эксплуатационными процедурами, укомплектованием персоналом, обучением и переподготовкой персонала, процедурами проверки и аудита, техническим обслуживанием, модификациями, ведением учетных и отчетных документов и требуемыми действиями в случае нарушения эксплуатационных пределов и условий должны возлагаться на работников, находящихся на ключевых должностях в эксплуатирующей организации»;

– «эксплуатационные пределы и условия должны включать административные требования, касающиеся организационной структуры эксплуатирующей организации, и обязанности для ключевых должностей, наличие которых необходимо для безопасной эксплуатации установки»;

– «эксплуатирующая организация должна обеспечивать поддержание и осуществление мер административного контроля, указанных в отчете по оценке безопасности (документации по техническому обоснованию безопасности) и эксплуатационных пределах и условиях».

Рассмотрение приведенных положений позволяет заключить, что их содержание соответствует рассмотренной выше концепции ПУЭ для АС. Различие, по существу, состоит только в разновидностях формулировок

и названии некоторых терминов (например, вместо ПБЭ использован термин «*предел безопасности*»).

Действительно, целью установления пределов безопасности в [8] указана защита целостности физических барьеров, предохраняющих от неконтролируемого выброса РВ. Аналогичны также приведенные условия установления ПБЭ, их соблюдения и нарушения.

Таким образом, можно отметить, что, несмотря на приведенный в [8] перечень особенностей, отличающих блок АС от установок ЯТЦ, в нормативном документе МАГАТЭ [8] допускается использование положений концепции ПБЭ, принятой для блока АС, также и для установок ЯТЦ. Насколько такое допущение правомерно, будет рассмотрено далее в разделе 3.7.

Глава 3. Содержание понятия пределов безопасной эксплуатации в нормативных документах Российской Федерации

3.1. Определение пределов безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

Концепция ПБЭ ОЯТЦ до настоящего времени не опубликована. Однако отсутствие опубликованной концепции ПБЭ ОЯТЦ в нормативных документах РФ не является препятствием для определения содержания одного из ключевых понятий в нормативном регулировании безопасности ОЯТЦ. Правда, для раскрытия содержания этого понятия требуется проведение системного анализа совокупности определений терминов и положений, относящихся к ПБЭ ОЯТЦ, которые изложены в нормативных документах РФ по обеспечению безопасности ОЯТЦ.

Общее понятие ПБЭ, устанавливаемых для ОЯТЦ, представлено в концентрированном виде в определении ПБЭ ОЯТЦ, которое приведено в ФНП «Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ)» НП-016-05 [2].

Данное определение применимо к ОЯТЦ, в перечень которых, напомним, входят [2]: ЯУ; РИ; ПХЯМ и РВ; ПЗРО.

Принятая в [2] формулировка определения ПБЭ ОЯТЦ представлена в табл. № 7. Для сравнения в этой таблице приведены определения ПБЭ, используемые для других ОИАЭ и отдельных категорий ОЯТЦ, которые заимствованы из указанных в табл. № 7 ФНП.

Рассмотрение представленных в табл. № 7 формулировок показывает, что принятые в ФНП определения ПБЭ для различных ОИАЭ однотипны, хотя и не унифицированы. Это свидетельствует в пользу того, что в нормативных документах РФ по обеспечению безопасности ОИАЭ был использован единый концептуальный подход к обоснованию общего понятия ПБЭ для всех разновидностей ОИАЭ.

Таблица № 7

Определения пределов безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии

№ п/п	Определение предела безопасной эксплуатации	№ ФНП
1	<i>Пределы безопасной эксплуатации АС – установленные проектом АС значения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии. Различают пределы безопасной эксплуатации по радиационным параметрам и пределы безопасной эксплуатации по другим технологическим параметрам. Нарушение пределов безопасной эксплуатации по радиационным параметрам является аварией</i>	НП-001-15 [18]

№ п/п	Определение предела безопасной эксплуатации	№ ФНП
2	<i>Пределы безопасной эксплуатации объекта ЯТЦ – установленные в проекте граничные значения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии</i>	НП-016-05 [2]
3	<i>Пределы безопасной эксплуатации радиационного источника – установленные в проектной и (или) технической (эксплуатационной) документации на РИ значения параметров и характеристик, отклонения от которых могут привести к радиационной аварии</i>	НП-038-16 [19]
4	<i>Пределы безопасной эксплуатации – установленные проектом ИЯУ значения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии</i>	НП-033-11 [20]
5	<i>Пределы безопасной эксплуатации объекта ЯТЦ – установленные в проекте граничные значения параметров технологического процесса, отклонения от которых могут привести к аварии.</i>	НП-016-05 [2]
6	<i>Пределы безопасной эксплуатации ПВХ РАО – установленные проектом ПВХ РАО значения параметров и характеристик установок, систем и оборудования при эксплуатации, отклонения от которых могут привести к аварии</i>	НП-052-04 [21]

Допущенные отличия в определениях ПБЭ ОИАЭ относятся к:

- уточнению (в определении ПБЭ блока АС) приоритетного значения ПБЭ, установленных по радиационным параметрам, по отношению к ПБЭ, устанавливаемым по другим параметрам, которое состоит в том, что нарушение ПБЭ по радиационным параметрам сразу указывает на возникновение аварии, а нарушения по другим ПБЭ – может не привести к аварии;

- возможности (в определении ПБЭ РИ) установления ПБЭ не только проектом, но и технической (эксплуатационной) документацией.

При рассмотрении определения ПБЭ ОЯТЦ можно выделить следующие аспекты этого понятия:

- ПБЭ ОЯТЦ устанавливаются проектом ОЯТЦ, то есть документом, утверждение которого должно предшествовать эксплуатации ОЯТЦ;

- ПБЭ ОЯТЦ относятся к эксплуатации ОЯТЦ, и, следовательно, можно полагать, что они не действуют при выполнении других этапов деятельности ОЯТЦ, например, при сооружении ОЯТЦ или выводе ОЯТЦ из эксплуатации, который, согласно определению, приведенному в [2],

означает деятельность, осуществляемую после прекращения эксплуатации ОЯТЦ;

- ПБЭ ОЯТЦ устанавливают для технологических процессов ОЯТЦ, осуществление которых может привести к аварии на ОЯТЦ. Отсюда можно предположить, что ПБЭ ОЯТЦ не устанавливают для таких технологических процессов ОЯТЦ, при осуществлении которых возникновение аварии на ОЯТЦ обосновано исключено;

- ПБЭ ОЯТЦ устанавливают для таких параметров технологических процессов ОЯТЦ, от которых зависит возможность возникновения аварии на ОЯТЦ. Соответственно, можно предположить, что ПБЭ ОЯТЦ не устанавливают для параметров технологических процессов ОЯТЦ, не влияющих на возможность возникновения аварии на ОЯТЦ;

- ПБЭ ОЯТЦ устанавливают, как граничные значения параметров технологических процессов, влияющих на возможность возникновения аварии на ОЯТЦ, внутри границ которых обеспечивается безопасная эксплуатация ОЯТЦ, то есть исключается возможность возникновения аварии на ОЯТЦ;

- ПБЭ ОЯТЦ устанавливают, как граничные значения параметров технологических процессов с учетом того, что отклонения от установленных граничных значений могут привести к аварии на ОЯТЦ. Отсюда можно полагать, что при отклонении от установленных ПБЭ могут иметь случаи, когда при этом авария на ОЯТЦ не произойдет, а также случаи, когда при этом авария на ОЯТЦ произойдет.

Исходя из определения ПБЭ ОЯТЦ, можно представить взаимосвязь терминов, образующих это определение, как это показано на рис. 17.

Понятие каждого из этих терминов можно принять в виде элементов, общие признаки которых образуют систему, представляющую собой понятие ПБЭ ОЯТЦ.

В связи с этим представляет интерес ознакомление с употребляемыми применительно к ПБЭ ОЯТЦ определениями указанных на рис. 17 терминов.

В [2] приведено следующее определение проекта ОЯТЦ: *«совокупность проектной документации, конструкторской документации, рабочей документации на сооружение объекта ЯТЦ».*

Согласно этому определению, установление ПБЭ для параметров проектируемого технологического процесса должно осуществляться до сооружения ОЯТЦ.

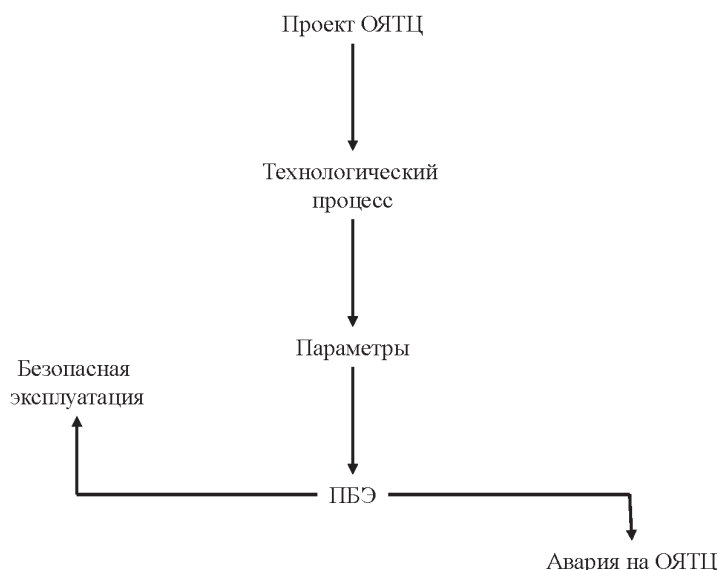


Рис. 17. Схема взаимосвязи терминов, входящих в определение пределов безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

В проекте должны быть приведены:

- технологический процесс, для которого устанавливают ПБЭ;
- параметры технологического процесса, по которым устанавливают ПБЭ;
- граничные значения этих параметров (ПБЭ), разделяющие условия безопасной эксплуатации от условий возникновения аварии на ОЯТЦ.

В [2] отсутствуют определения терминов «технологический процесс ОЯТЦ», «параметры технологического процесса ОЯТЦ», «предел параметра технологического процесса», что указывает на возможность их трактовки в общеупотребительном значении без учета специфики ОЯТЦ.

Тогда, например, в соответствии с [22], можно принять, что:

- технологические процессы – операции добычи, обработки, переработки, транспортирования, складирования, хранения, которые являются основной составной частью производственного процесса;
- параметры состояния – физические величины, характеризующие состояние системы (процесс представляет собой изменение состояния системы);

– предел – постоянная, к которой неограниченно приближается некоторая переменная величина, зависящая от другой переменной величины, при определенном изменении последней.

Отсюда следует, что ПБЭ относятся к установленным в проекте ОЯТЦ пределам переменных значений параметров, характеризующих технологический процесс, проектируемый для его осуществления при эксплуатации ОЯТЦ.

В [2] отсутствует также определение термина «безопасная эксплуатация», но приведено определение термина «авария на объекте ядерного топливного цикла», что позволяет оценить границу, проходящую между безопасной эксплуатацией и аварией на ОЯТЦ, как это будет показано далее.

3.2. Нормативные требования, относящиеся к пределам безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

Концептуальные положения о понятии ПБЭ ОЯТЦ можно выделить из анализа нормативных требований по обеспечению безопасности ОЯТЦ, изложенных в [2, 23].

Нормативные требования, непосредственно относящиеся к ПБЭ ОЯТЦ с указанием этого термина в формулировке требований, приведены в [2] в отношении:

- установления ПБЭ;
- соблюдения ПБЭ;
- нарушения ПБЭ.

Применительно к установлению ПБЭ ОЯТЦ в [2] приведены следующие требования:

- в проекте должны быть приведены пределы и условия безопасной эксплуатации ОЯТЦ (п. 6.1.4 [2]);
- при выполнении программы ввода в эксплуатацию должны уточняться пределы и условия безопасной эксплуатации (п. 7.1.5 [2]).

Применительно к соблюдению ПБЭ ОЯТЦ в [2] приведены следующие требования:

- в проекте должны быть предусмотрены технические средства и организационные мероприятия, направленные на предотвращение:
 - нарушения пределов и условий безопасной эксплуатации;
 - проектных аварий и ограничение их последствий (п. 6.1.4 [2]);
- параметры, которые необходимо контролировать на пункте (щите) управления, должны отображаться для обеспечения оперативного представления работникам (персоналу) однозначной и достоверной информации о соблюдении пределов и условий безопасной эксплуатации

объекта ЯТЦ, а также идентификации и диагностики автоматического срабатывания и функционирования систем безопасности (п. 6.5.5 [2]).

Применительно к действиям при нарушении ПБЭ ОЯТЦ в [2] приведены следующие сведения:

- в проекте объекта ЯТЦ должны быть предусмотрены технические средства и организационные мероприятия, направленные на предотвращение проектных аварий и ограничение их последствий и обеспечивающие безопасность при любом из учитываемых в проекте исходном событии с наложением в соответствии с принципом единичного отказа одного независимого от исходного события отказа любого из следующих элементов систем безопасности: активного элемента или пассивного элемента, имеющего механические движущиеся части, или одной, независимой от исходного события ошибки персонала (п. 6.6.1 [2]).

Дополнительно к одному независимому от исходного события отказу одного от указанных выше элементов должны быть учтены приводящие к нарушению пределов безопасной эксплуатации не – обнаруживаемые при эксплуатации объекта ЯТЦ отказы элементов, влияющих на развитие аварии (п. 6.6.1 [2]):

- при возникновении предаварийной ситуации на объекте ЯТЦ должны быть определены и устранены ее причины и приняты меры по восстановлению нормальной эксплуатации объекта ЯТЦ. Технологический процесс на объекте ЯТЦ должен быть прекращен, если пределы и условия безопасной эксплуатации не могут быть соблюдены (п. 7.2.9 [2]);

- документированные сведения о нарушениях пределов и условий безопасности эксплуатации должны храниться на объекте ЯТЦ в течение двух лет. До уничтожения записей результаты должны включаться в периодические отчеты о состоянии безопасности объекта ЯТЦ, выпускаемые эксплуатирующей организацией. Материалы расследования нарушений в работе объекта ЯТЦ должны храниться на протяжении всего срока его эксплуатации в порядке, устанавливаемом эксплуатирующей организацией (п. 7.2.8 [2]).

На основании изложенных требований ФНП можно представить логическую структуру основных элементов содержания понятия ПБЭ, которые в своей совокупности должны соответствовать применяемой в нормативной практике РФ концепции ПБЭ. Взаимосвязь элементов такой структуры можно изобразить в виде схемы, показанной на рис. 18.

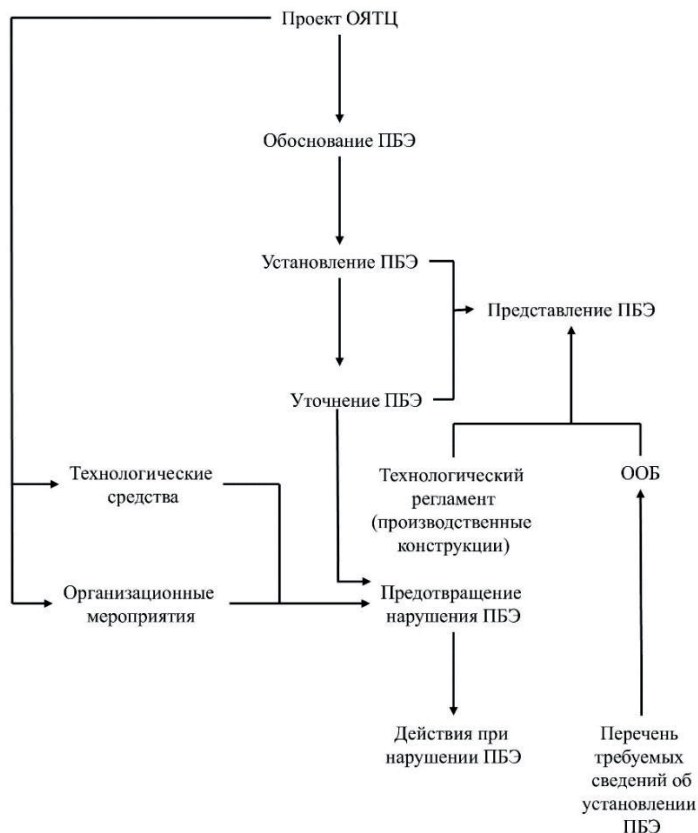


Рис. 18. Схема взаимосвязи направлений требований федеральных норм и правил в области использования атомной энергии [2, 23], относящихся к пределам безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

Содержание рассмотренной системы концептуальных положений может быть расширено в части, касающейся структуры рамок ПБЭ, за счет привлечения дополнительного источника. В требованиях к ООБ ЯУ ЯТЦ [23] приведены следующие положения, относящиеся к ПБЭ ОЯТЦ.

Согласно п. 11.1.2.7 [23] основным критерием является неперевышение ПБЭ.

В требованиях п. 11.1.2.6, 11.2.2.6 [23] установлено:

– в результате анализа нарушений нормальной эксплуатации ЯУ ЯТЦ должно быть подтверждено выполнение принятых проектом

критериев и требований безопасности. Анализ предаварийных ситуаций должен продемонстрировать эффективность предусмотренных проектом СВБ, невозможность перерастания предаварийной ситуации в аварию;

- изложить в ООБ результаты расчетов и последующего анализа аварийных процессов при проектном функционировании СБ, отказах в системах и ошибках операторов, постулированных в соответствии с требованиями нормативной документации по безопасности. Результаты анализа аварийных процессов являются обоснованием характеристик СБ, заложенных в проекте.

- в ООБ должно быть показано, что нарушение ПБЭ не приведет к превышению дозовых пределов для работников (персонала) и населения. Изложить в ООБ результаты расчета аварийных процессов в системах ЯУ ЯТЦ, а также результаты расчета выбросов РВ.

В п. 12.1 [23] изложены следующие требования:

- привести в ООБ ПБЭ, контролируемые параметры, способ и точное место их измерения, обоснование принятого предельно допустимого по условиям безопасной эксплуатации значения и погрешности его измерения, диапазоны изменения и измерения параметра, точность выполненного расчетного и (или) экспериментального обоснования параметра, допустимый перерыв потери информации, резервирование каналов измерения;

- привести в ООБ все уставки срабатывания СБ. Обосновать принятые значения уставок, указать режимы (процессы), определяющие их достижение, а также погрешность их измерения. Привести и обосновать значения уставок срабатывания предупредительной и аварийной сигнализации;

- в ООБ показать, что срабатывание СБ обеспечивает не превышение ПБЭ с учетом инерционности прохождения сигналов. Показать имеющиеся запасы;

- привести в ООБ перечень условий, при которых оператор обязан остановить технологический процесс.

В этом же пункте указано, что в тех случаях, когда проектом допускается включение СБ оператором, должна быть представлена следующая информация:

- оператор обеспечен информацией, подготовленной в соответствии с требованиями к управляющим СБ;

- оператор располагает достаточным временем для инициирования СБ;

– управление командами выполнено так, что команды оператора на включение СБ имеют приоритет, аналогичный командам управляющих СБ;

– приведен анализ последствий ошибочных действий оператора.

Структура рассмотренных направлений требований [23], относящихся к ПБЭ ОЯТЦ, в концентрированном виде может быть представлена схемой, как это показано на рис. 19.



Рис. 19. Схема функционирования пределов безопасной эксплуатации ядерных установок ядерного топливного цикла по [23]

3.3. Взаимосвязь понятий пределов безопасной эксплуатации и аварии на объектах ядерного топливного цикла

Определения аварии на ОЯТЦ и ее разновидностей приведены в [2] и показаны в табл. № 8. Для сравнения в этой же таблице приведены определения аналогичных терминов, принятых в [18] применительно к авариям на блоке АС.

Таблица № 8

Определение аварийных состояний объектов ядерного топливного цикла и атомной станции

Атомная станция (НП-001-15) [18]	Объект ядерного топливного цикла (НП-016-05) [2]
<i>Авария на АС (авария) – нарушение нормальной эксплуатации АС, при котором произошел выход радиоактивных веществ и (или) ионизирующего излучения за границы, предусмотренные проектной документацией АС для нормальной эксплуатации в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации; авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями</i>	<i>Авария на объекте ядерного топливного цикла – нарушение эксплуатации объекта ЯТЦ, при котором произошел выход ядерных материалов, радиоактивных веществ и (или) ионизирующего излучения за предусмотренные проектом объекта ЯТЦ для нормальной эксплуатации границы в количествах, превышающих установленные пределы безопасной эксплуатации. Авария характеризуется исходным событием, путями протекания и последствиями</i>
<i>Ядерная авария – авария, сопровождающаяся повреждением твэлов, превышающим установленные пределы безопасной эксплуатации, или авария без повреждения твэлов, вызванная: нарушением контроля и управления цепной реакцией деления; возникновением критичности при перегрузке, транспортировании и хранении ядерного топлива. Повреждение твэлов – нарушение хотя бы одного из установленных для твэлов пределов повреждения</i>	<i>Авария ядерная – авария, произошедшая вследствие самоподдерживающейся цепной ядерной реакции деления</i>

Атомная станция (НП-001-15) [18]	Объект ядерного топливного цикла (НП-016-05) [2]
<i>Проектная авария – авария, для которой в проекте АС определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности, обеспечивающие при независимом от исходного события отказе одного из элементов системы безопасности, учитываемом в проекте АС, или при одной, независимой от исходного события, ошибке персонала ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами</i>	<i>Авария проектная – авария, для которой проектом определены исходные события и конечные состояния и предусмотрены системы безопасности и (или) иные технические средства и организационные мероприятия, обеспечивающие ограничение ее последствий установленными для таких аварий пределами</i>
<i>Предаварийная ситуация – нарушение пределов и (или) условий безопасной эксплуатации, не перешедшее в аварию</i>	<i>Предаварийная ситуация – состояние объекта ЯТЦ, характеризующееся нарушением пределов и условий безопасной эксплуатации, не перешедшее в аварию.</i>
<i>Запроектная авария – авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами элементов систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений персонала</i>	<i>Авария запроектная – авария, вызванная не учитываемыми для проектных аварий исходными событиями или сопровождающаяся дополнительными по сравнению с проектными авариями отказами систем безопасности сверх единичного отказа, реализацией ошибочных решений работников (персонала)</i>
<i>Тяжелая авария – запроектная авария с повреждением твэлов выше максимального проектного предела</i>	–

Как следует из формулировки определения, основным признаком аварии на ОЯТЦ является выход ЯМ, РВ, ИИ за границы (физических барьеров или мест контроля ПБЭ) в количествах, превышающих установленные ПБЭ.

Этим утверждается непосредственная связь аварии с нарушением ПБЭ. Более тщательное раскрытие взаимосвязи между ПБЭ и аварией, исходя из рассматриваемого определения, позволяет отметить, что:

- авария представляет собой нарушение эксплуатации ОЯТЦ, следовательно, нарушение ПБЭ также означает нарушение эксплуатации ОЯТЦ, а соблюдение ПБЭ – допустимые (безопасные) условия эксплуатации ОЯТЦ;

- авария ассоциируется с превышением ПБЭ в результате повышения радиационного воздействия в точках контроля за соблюдением ПБЭ.

Авария наступает при превышении ПБЭ, которые даны в определении во множественном числе, что допускает различные трактовки по числу ПБЭ, превышение которых приводит к аварии, и требует дополнительных разъяснений:

- авария ассоциируется с ПБЭ, которые установлены по выходу ЯМ, РВ, ИИ, то есть с ПБЭ, установленными по радиационному воздействию или по радиационным параметрам;

- в определении приведены два возможных вида радиационного воздействия: только ИИ и ИИ, сопровождающее ЯМ и РВ (что косвенно свидетельствует о возможности как внешнего, так и внутреннего облучения, поэтому допускается возможность установления ПБЭ по характеристикам как ИИ, так и ЯМ, РВ;

- при возникновении аварии в определении указан выход ЯМ, РВ, ИИ за предусмотренные (установленные) проектом границы, что предполагает места радиационного контроля за соблюдением ПБЭ по радиационным параметрам, образующим границу вокруг расположения ЯМ, РВ при нормальной эксплуатации ОЯТЦ; такую границу можно трактовать и как внешнюю границу физических барьеров, непосредственно локализующих ЯМ, РВ;

- согласно определению, причиной аварии (и, следовательно, причиной нарушения ПБЭ по радиационным параметрам) является ее исходное событие.

В [2] дано следующее определение: *«событие исходное – единичный отказ в системах (элементах) объекта ЯТЦ, отклонение одного параметра ядерной безопасности, внешнее событие или ошибка работника (персонала), которые приводят к нарушению нормальной эксплуатации и могут привести к нарушению пределов и (или) условий безопасной эксплуатации. Исходное событие включает все зависимые отказы, являющиеся его следствием».*

Отсюда следует, что исходное событие, приводящее к нарушению ПБЭ, возникает при нормальной эксплуатации ОЯТЦ.

Кроме того, здесь следует принять во внимание следующее приведенные в [2] определения:

– «*Внутренние воздействия – воздействия, возникающие при исходных событиях аварий, включая ударные волны, струи, летящие предметы, изменение параметров среды (давления, температуры и т. п.), пожары, взрывы, затопления и т. п.*»;

– «*Параметры ядерной безопасности – физические и геометрические величины (параметры), для которых установлены ограничения с целью обеспечения ядерной безопасности*».

Поскольку исходные события характеризуются физическими и геометрическими параметрами ядерной безопасности и указанными выше параметрами среды, и отклонение этих параметров может привести к аварии, то эти параметры следует отнести к виду параметров, отличных от радиационных, для которых также устанавливаются ПБЭ.

Как следует из рассматриваемого определения, авария характеризуется путями протекания.

Согласно [2]: «*путь протекания аварии – последовательность состояний систем и элементов объекта ЯТЦ в процессе развития аварии*».

Поскольку состояния систем характеризуются указанными выше параметрами, то изменение этих параметров может приводить к нарушению ПБЭ, установленным по этим параметрам.

Но поскольку сами эти параметры непосредственно не характеризуют радиационное воздействие (выход ЯМ, РВ, ИИ), нарушения ПБЭ по данным параметрам само по себе (по определению) не является аварией на ОЯТЦ. Однако, нарушение ПБЭ по данным параметрам может привести (являться причиной) к превышению ПБЭ по радиационным параметрам, и в этом случае (смысле) привести к аварии.

Как следует из рассматриваемого определения, авария характеризуется также последствиями.

Согласно [2]: «*последствия аварии – возникшая в результате аварии радиационная обстановка на объекте ЯТЦ и в окружающей его среде, наносящая убытки и вред из-за превышения установленных пределов радиационного воздействия на работников (персонал), население и окружающую среду*».

Отсюда очевидно, что последствия аварии обусловлены превышением установленных пределов по радиационным параметрам, и что при отсутствии установления таких ПБЭ последствия аварии нанесут

еще большие убытки и вред, то есть установлением ПБЭ ограничивают (ослабляют) тяжесть последствий аварии.

Как видно из табл. № 8, содержание общего определения аварии на блоке АС в целом аналогично рассмотренному определению аварии на ОЯТЦ.

Различие имеет место в интерпретации понятия ядерной аварии на ОЯТЦ и блоке АС. Это различие обусловлено тем, что на блоке АС осуществляют управляемую СЦР. Поэтому ядерная авария на блоке АС характеризуется различными аспектами нарушения управления за протеканием СЦР и последствиями такого нарушения.

Для ОЯТЦ ядерная авария обусловлена протеканием неуправляемой СЦР, которую необходимо предотвращать и исключать.

При ядерной аварии может происходить выход ИИ в количестве, превышающем установленные ПБЭ по радиационным параметрам.

Понятие проектной аварии на ОЯТЦ является определяющим при рассмотрении взаимосвязи понятий аварии на ОЯТЦ и ПБЭ ОЯТЦ.

Специфика проектной аварии заключается в том, что:

- именно для предотвращения таких аварий устанавливают ПБЭ ОЯТЦ;
- именно по обоснованным в проекте (как наиболее вероятным) исходным событиям устанавливают ПБЭ по параметрам, характеризующим эти исходные события;
- именно для установления ПБЭ в проекте обосновывают системы безопасности, технические средства, организационные мероприятия, действия которых должны обеспечить их соблюдение;
- именно с учетом возможности обоснованных средств для соблюдения ПБЭ в проекте устанавливают пределы для последствий таких аварий в случае учитываемых в проекте возможных отказов систем, нарушения ПБЭ и проектных аварий.

На основании приведенного анализа понятия терминов может быть представлена схема взаимосвязи ПБЭ и проектной аварии ОЯТЦ, показанная на рис. 20.

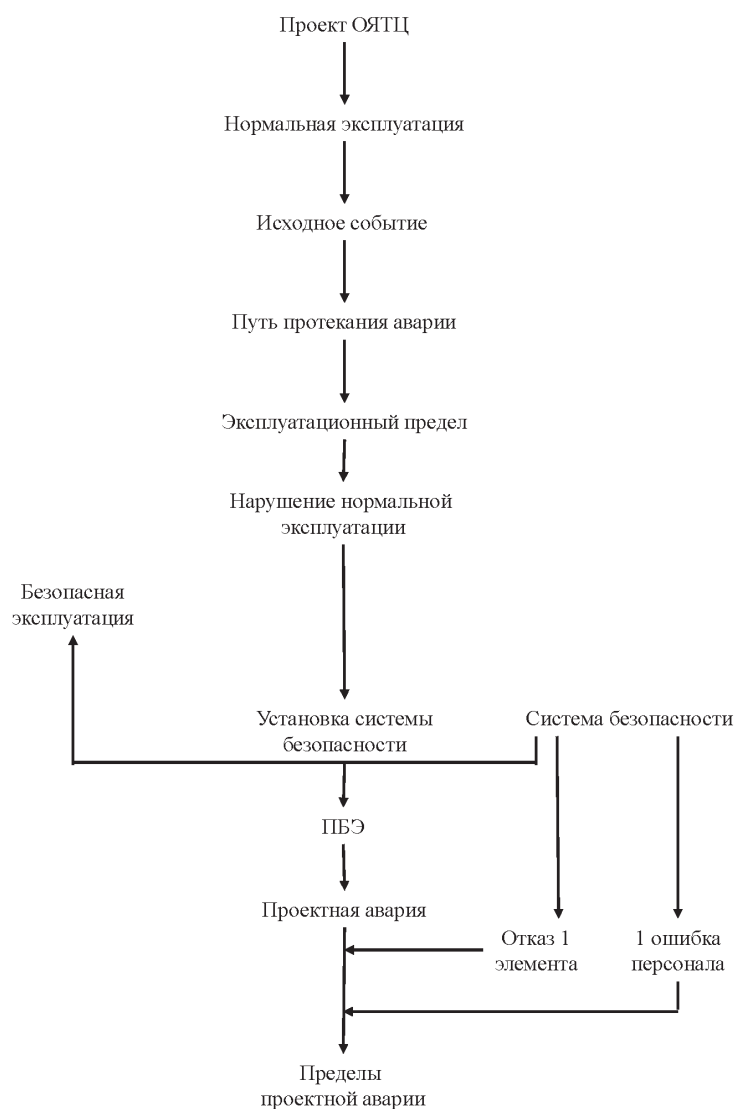


Рис. 20. Схема взаимосвязи терминов, поясняющих понятие проектной аварии объекта ядерного топливного цикла

В связи с этим можно рассматривать две траектории проектной аварии:

- траектория, не приводящая к нарушению ПБЭ, соответствующая предотвращенной проектной аварии;
- траектория, приводящая к нарушению ПБЭ и соответствующая не предотвращенной (реализованной) проектной аварии.

В определении проектной аварии на блоке АС дополнительно конкретизированы случаи учитываемых отказов СБ и ошибок персонала, для которых устанавливают пределы для последствий проектных аварий.

В соответствии с определением предаварийной ситуации, приведенным в табл. № 8, при не слишком значительном нарушении ПБЭ по нерадикационным параметрам – авария на ОЯТЦ может не произойти.

Что касается запроектной аварии на ОЯТЦ, то она отличается от проектной аварии тем, что ее протекание (при нарушении установленных ПБЭ) обусловлено дополнительными исходными событиями, отказом СБ, ошибочными действиями персонала, по сравнению с проектными авариями, а также возможностью более тяжелых последствий.

3.4. Понятие безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

С учетом рассмотренного понятия аварии на ОЯТЦ можно приступить к раскрытию понятия безопасной эксплуатации ОЯТЦ.

В [2] отсутствует определение безопасной эксплуатации ОЯТЦ, для которой устанавливают пределы, но приведены определения ряда терминов, относящихся к эксплуатации ОЯТЦ. Формулировки этих определений сгруппированы в табл. № 9.

Таблица № 9

Определения понятий эксплуатации объектов ядерного топливного цикла [2]

№	Формулировка
1	Эксплуатация объекта ЯТЦ – деятельность, направленная на достижение безопасным образом целей, для которых предназначен объект ЯТЦ
2	Эксплуатация объекта ЯТЦ промышленная – эксплуатация объекта ЯТЦ, принятого в эксплуатацию в установленном порядке, соответствие проекту и безопасности которого подтверждены испытаниями на этапах ввода в эксплуатацию объекта ЯТЦ
3	Эксплуатация объекта ЯТЦ опытная – этап ввода объекта ЯТЦ в эксплуатацию после завершения пусконаладочных работ и комплексного опробования систем (элементов), включающий первую загрузку ядерных делящихся материалов, до приемки объекта ЯТЦ в промышленную эксплуатацию
4	Система – совокупность элементов, предназначенная для выполнения заданных функций
5	Элементы – оборудование, аппараты, приборы, трубопроводы, кабели, строительные конструкции и другие изделия, обеспечивающие выполнение заданных функций самостоятельно или в составе систем и рассматриваемые в проекте в качестве структурных единиц при выполнении анализов надежности и безопасности
6	Физический барьер – преграда на пути распространения ионизирующего излучения, ядерного материала, радиоактивного вещества
7	Ввод объекта ЯТЦ в эксплуатацию – процесс, во время которого системы и оборудование объекта ЯТЦ начинают функционировать и проверяется их соответствие проекту. Процесс включает предпусковые наладочные работы, комплексное опробование систем (элементов), опытную эксплуатацию и завершается сдачей объекта ЯТЦ в промышленную эксплуатацию
8	Вывод из эксплуатации объекта ЯТЦ – деятельность, осуществляемая после прекращения эксплуатации объекта ЯТЦ, исключающая его использование по проектному назначению и направленная на обеспечение безопасности работников (персонала), населения и окружающей среды вплоть до освобождения от регламентации нормами радиационной безопасности
9	Закрытие пункта захоронения радиоактивных отходов – деятельность по приведению пункта захоронения РАО в состояние, обеспечивающее безопасность населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности размещенных в нем РАО, которая осуществляется после завершения технологических операций по размещению в нем РАО

Глава 3. Содержание понятия пределов безопасной эксплуатации в нормативных документах Российской Федерации

№	Формулировка
10	<i>Эксплуатационная документация объекта ЯТЦ – совокупность действующих на объекте ЯТЦ и разработанных в соответствии с установленным порядком технологических регламентов, руководств по эксплуатации, инструкций по эксплуатации систем и элементов, рабочих и технологических инструкций, других документов объекта ЯТЦ</i>
11	<i>Эксплуатация объекта ЯТЦ нормальная – эксплуатация объекта ЯТЦ в определенных проектом эксплуатационных пределах и условиях</i>
12	<i>Системы (элементы) нормальной эксплуатации – системы (элементы), предназначенные для осуществления нормальной эксплуатации</i>
13	<i>Эксплуатационные пределы – граничные значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и объекта ЯТЦ заданные в проекте для нормальной эксплуатации</i>
14	<i>Эксплуатационные условия – установленные в проекте условия по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и техническому обслуживанию систем (элементов), необходимые для работы без нарушения эксплуатационных пределов</i>
15	<i>Нарушение нормальной эксплуатации – нарушение в работе объекта ЯТЦ, при котором произошло отклонение от установленных эксплуатационных пределов и условий. При этом могут быть нарушены и другие установленные в проекте пределы и условия, включая пределы безопасной эксплуатации</i>
16	<i>Эксплуатация объекта ЯТЦ с отклонениями – эксплуатация объекта ЯТЦ с нарушением эксплуатационных пределов или условий, но без нарушения пределов или условий безопасной эксплуатации</i>

На основании представленной в табл. № 9 информации можно заключить, что:

- промышленная эксплуатация ОЯТЦ должна соответствовать безопасности, то есть быть безопасной эксплуатацией в соответствии с установленными проектом ПБЭ;

- при опытной эксплуатации ОЯТЦ (при вводе ОЯТЦ в эксплуатацию) должна осуществляться проверка соответствия безопасного функционирования систем (элементов) ОЯТЦ проекту, что, следовательно, относится и к проверке соблюдения установленных проектом ПБЭ;

- безопасная эксплуатация связана с безопасным функционированием систем (элементов); выполнение анализов надежности и безопасности элементов систем ОЯТЦ должно включать анализ установленных для них ПБЭ;

- приведенный в определении перечень элементов не включает технологические среды и, следовательно, их параметры (параметры

технологического процесса), для которых устанавливают ПБЭ; безопасная эксплуатация должна включать безопасное осуществление технологических процессов; получается, что безопасность технологического процесса ОЯТЦ рассматривается отдельно от безопасности элементов систем ОЯТЦ;

- приведенный в определении перечень элементов систем ОЯТЦ включает оборудование (следовательно, и физические барьеры); выполнение анализа безопасности таких элементов должно включать и анализ установленных для них ПБЭ;

- при нарушении нормальной эксплуатации ОЯТЦ, то есть при нарушении установленных эксплуатационных пределов происходит эксплуатация ОЯТЦ с отклонениями, при которой могут быть не нарушены установленные ПБЭ; это свидетельствует о том, что безопасная эксплуатация ОЯТЦ включает в себя две составляющие: нормальную эксплуатацию и эксплуатацию с отклонениями, а эксплуатационные пределы не могут выходить за рамки ПБЭ;

- поскольку вывод из эксплуатации ОЯТЦ осуществляют после прекращения эксплуатации (в том числе безопасной), ПБЭ не устанавливают для этапа вывода ОЯТЦ из эксплуатации, а также при закрытии ПЗРО (ПГЗ ЖРО);

- из определения эксплуатационной документации ОЯТЦ прямо не следует, что там должна содержаться информация о ПБЭ, но поскольку эксплуатация ОЯТЦ должна быть безопасной, это предполагает включение сведений о ПБЭ в эксплуатационную документацию.

На основании приведенных сведений можно установить положение безопасной эксплуатации в общей структуре эксплуатации ОЯТЦ, как это показано на рис. 21.

Понятие безопасной эксплуатации ОЯТЦ является составной частью общего понятия, употребляемого в [2], а именно: понятия «*безопасность ОЯТЦ*». Поэтому для более полного раскрытия понятия безопасной эксплуатации ОЯТЦ следует детально рассмотреть содержание понятия безопасности ОЯТЦ. Очевидно, что понятие безопасной эксплуатации должно соответствовать более общему понятию безопасности ОЯТЦ.



Рис. 21. Схема взаимосвязи безопасной эксплуатации с разновидностями эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

В [2] дано определение безопасности ОЯТЦ, формулировка которой приведена в табл. № 10. В эту же таблицу включены употребляемые в [2] определения терминов, относящихся к безопасности ОЯТЦ, а также для сравнения определения аналогичных терминов, используемых применительно к блоку АС в ФНП [18].

Таблица № 10

Определения терминов, относящихся к безопасности объектов ядерного топливного цикла и атомной станции

№	Атомная станция (НП-001-15) [18]	Объект ядерного топливного цикла (НП-016-05) [2]
1	Безопасность АС (ядерная и радиационная безопасность АС) – свойство АС обеспечивать надежную защиту персонала, населения и окружающей среды от недопустимого в соответствии с федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии радиационного воздействия	Безопасность объекта ЯТЦ – свойство объекта ЯТЦ при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное и другие возможные воздействия на работников (персонал), население и окружающую среду установленными пределами, а также предотвращать возникновение СЦР при обращении с ядерными материалами
2	АС удовлетворяет требованиям безопасности, если соблюдаются следующие условия: радиационное воздействие АС на персонал, население и окружающую среду при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации до проектных аварий включительно не приводит к превышению установленных доз облучения персонала и населения, нормативов по выбросам и сбросам; радиационное воздействие АС на персонал, население и окружающую среду ограничиваются при запроектных авариях; ограничивается вероятность возникновения на АС аварий	Объект ЯТЦ удовлетворяет требованиям безопасности, если его радиационное воздействие на работников (персонал), население и окружающую среду при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, не приводит к превышению установленных пределов доз облучения работников (персонала) и населения, нормативов выбросов и сбросов радиоактивных веществ, содержания радиоактивных веществ в окружающей среде, а также ограничивает это воздействие при запроектных авариях
3	—	Системы (элементы) важные для безопасности – системы (элементы) безопасности, а также системы (элементы) нормальной эксплуатации, отказы которых нарушают нормальную эксплуатацию объекта ЯТЦ или препятствуют устранению отклонений от нормальной

Глава 3. Содержание понятия пределов безопасной эксплуатации в нормативных документах Российской Федерации

№	Атомная станция (НП-001-15) [18]	Объект ядерного топливного цикла (НП-016-05) [2]
		эксплуатации и могут приводить к проектным и запроектным авариям
4	Системы (элементы) безопасности – системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности при проектных авариях	Системы (элементы) безопасности – системы (элементы), предназначенные для выполнения функций безопасности. Системы (элементы) безопасности по характеру выполняемых ими функций разделяются на защитные, локализирующие, обеспечивающие и управляющие
5	Функция безопасности – конкретная цель и действия, обеспечивающие ее достижение, направленные на предотвращение аварий и (или) ограничение их последствий	Функция безопасности – специфическая конкретная цель и действия, обеспечивающие ее достижение и направленные на предотвращение аварий или ограничение их последствий
6	Критерии безопасности – значения параметров и (или) характеристики АС, в соответствии с которыми обосновывается ее безопасность и которые установлены нормативными документами либо в проекте АС. Критерии безопасности, установленные в проекте АС, не должны противоречить требованиям нормативных документов	Критерии безопасности – установленные федеральными нормами и правилами, другими нормативными документами и (или) органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии значения параметров и (или) характеристик объекта ЯТЦ, в соответствии с которыми обосновывается безопасность
7	Условия безопасной эксплуатации – установленные проектом АС минимальные требования по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности, объему, периодичности и иным условиям технического обслуживания, контроля и испытаний систем (элементов), важных для безопасности, при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасной эксплуатации и (или) критериев безопасности	Условия безопасной эксплуатации – установленные в проекте условия по количеству, характеристикам, состоянию работоспособности и условиям технического обслуживания систем (элементов), важных для безопасности, при которых обеспечивается соблюдение пределов безопасной эксплуатации и (или) критериев безопасности

№	Атомная станция (НП-001-15) [18]	Объект ядерного топливного цикла (НП-016-05) [2]
8	Культура безопасности – набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что вопросам обеспечения безопасности АС, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью	Культура безопасности – квалификационная и психологическая подготовленность всех лиц, при которой обеспечение безопасности объекта ЯТЦ является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к самосознанию ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ, влияющих на безопасность
9	–	Оборудование безопасное (оборудование типа Б) – оборудование, конструкция, геометрические особенности и конструкционные материалы которого исключают возможность возникновения СЦР в условиях нормальной эксплуатации и при любых учитываемых в проекте объекта ЯТЦ исходных событиях

Непротиворечивое раскрытие содержания понятия безопасности ОЯТЦ затруднительно без привлечения соответствующих пояснений, дополняющих формулировку данного определения. С учетом таких пояснений, относящихся к рассмотренному выше понятию СВБ и заключенных далее по тексту в скобках, можно предложить следующую логическую схему трактовки понятия безопасности ОЯТЦ:

- безопасность ОЯТЦ рассматривается как свойство ОЯТЦ (более точно: свойство содержащихся в составе ОЯТЦ СВБ);

- это свойство ОЯТЦ (относящееся к функционированию СВБ ОЯТЦ) проявляется (реализуется) при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии;

- это свойство ОЯТЦ (относящееся к функционированию СВБ ОЯТЦ) состоит в ограничении радиационного и других возможных (опасных) воздействий ОЯТЦ (в ограничении других, целого ряда присущих ОЯТЦ опасных свойств) на работников (персонал), население и окружающую среду установленными пределами;

- это свойство ОЯТЦ (относящееся к функционированию СВБ ОЯТЦ) состоит также в предотвращении СЦР (дополнительного опасного свойства, присущего ОЯТЦ) при обращении с ЯМ.

Как видно из приведенных положений, рассмотрение ОЯТЦ в виде объекта, характеризуемого комплексом противоположных свойств (опасных и безопасных), не в полной мере отвечает потребности в ясности изложения понятия безопасности ОЯТЦ.

По-видимому, вследствие этого в [2] дано уточнение о том, как различать безопасный ОЯТЦ от опасного ОЯТЦ (то есть как понять граничные условия, при которых безопасные свойства ОЯТЦ преобладают над его опасными свойствами).

Формулировка этого уточнения приведена в табл. № 10. Согласно этой формулировке:

- безопасность ОЯТЦ рассматривается как соответствие установленным требованиям безопасности (безопасный ОЯТЦ соответствует требованиям, опасный ОЯТЦ – им не соответствует);

- требования безопасности относятся именно к радиационному воздействию ОЯТЦ на работников (персонал), население и окружающую среду;

- требования безопасности относятся к нормальной эксплуатации, нарушениям нормальной эксплуатации и проектным авариям на ОЯТЦ;

- соблюдение требований безопасности к радиационному воздействию ОЯТЦ не должно приводить к превышению установленных пределов доз облучения работников (персонал) и населения;

- радиационное воздействие ОЯТЦ не должно также приводить к превышению установленных нормативов выбросов и сбросов РВ в окружающую среду;

- радиационное воздействие ОЯТЦ также должно быть ограничено при запроектных авариях на ОЯТЦ.

При такой трактовке безопасность ОЯТЦ означает соответствие ОЯТЦ установленным требованиям безопасности (установленным пределам доз облучения) и нормативам выбросов и сбросов РВ.

Другие определения терминов, относящихся к безопасности ОЯТЦ и приведенных в табл. № 10, позволяют конкретизировать и наполнить содержанием это основополагающее понятие.

Согласно приведенным в табл. № 10 определениям:

- функция безопасности ОЯТЦ заключается в обеспечении соответствия ОЯТЦ указанным выше требованиям безопасности и нормативам посредством ограничения своего радиационного воздействия в результате предотвращения аварий или ограничения их последствий;

- критерии безопасности предназначены для обоснования значений параметров и (или) характеристик ОЯТЦ, соблюдение которых обеспечивает выполнение функций безопасности ОЯТЦ;

– условия безопасной эксплуатации ОЯТЦ предназначены для обеспечения соблюдения критериев безопасности посредством обоснования количества и характеристик необходимых для этого СВБ (безопасного оборудования, технических средств и организационных мероприятий);

– культура безопасности предназначена для обеспечения квалифицированного выполнения условий безопасной эксплуатации персоналом ОЯТЦ.

Совокупность рассмотренных понятий, относящихся к безопасности ОЯТЦ, позволяет рассматривать их в качестве элементов системы, образующих понятие безопасности ОЯТЦ. Структуру этой системы можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 22.



Рис. 22. Схема взаимосвязи терминов, относящихся к безопасности объектов ядерного топливного цикла

Из рис. 22 следует, что:

- функцией безопасной эксплуатации является ограничение радиационного воздействия ОЯТЦ;
- обоснование ПБЭ необходимо для выполнения функции безопасной эксплуатации ОЯТЦ;
- для соблюдения ПБЭ необходимы соответствующие технические средства и организационные мероприятия.

На основании данной схемы можно конкретизировать понятийную взаимосвязь между безопасной эксплуатацией и ПБЭ. Согласно этой схеме:

- условия безопасной эксплуатации охватывают собой условия нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации вплоть до достижения ПБЭ;
- соблюдение ПБЭ после нарушения нормальной эксплуатации обеспечивается СБ и безопасным оборудованием, применяемым для предотвращения возникновения (развития) СЦР;
- при соблюдении ПБЭ соблюдаются критерии безопасности, обеспечиваются условия безопасной эксплуатации и культура безопасности на ОЯТЦ.

Сравнение определений рассмотренных понятий с аналогичными определениями, приведенными в табл. № 10 для АС, позволяет отметить, что:

- в целом содержание понятий одинаковых терминов для АС и ОЯТЦ – аналогичны, что свидетельствует о едином подходе к понятию безопасности АС и ОЯТЦ;
- для АС конкретизированы виды обеспечиваемой безопасности (ядерной и радиационной), в то время как для ОЯТЦ принимают во внимание и другие возможные опасные воздействия, исходящие от ОЯТЦ;
- для ОЯТЦ одной из функций безопасности является предотвращение СЦР; эта функция безопасности отсутствует у АС вследствие осуществления управляемой цепной реакции деления ядер на АС;
- для АС отсутствует определение оборудования безопасного для исключения возникновения СЦР по указанной выше причине;
- для АС допускается возможность установления критериев безопасности проектом АС;
- для АС условия безопасной эксплуатации характеризуются как минимальные требования к СВБ, в том числе к их контролю и испытаниям;
- для АС культура безопасности формализуется систематизацией необходимых для контроля показателей.

3.5. Комментарии к понятию пределов безопасной эксплуатации объектов ядерного топливного цикла

Комментарии к понятию ПБЭ ОЯТЦ приведены в [24].

Их можно сгруппировать следующим образом:

1. *«Пределы безопасной эксплуатации (англ. – safety limits) представляют собой ограничения, накладываемые на технологические параметры, которые могут оказать влияние на состояние физических барьеров, которые предусмотрены проектом для проектного функционирования объекта (процесса) и, соответственно, для предотвращения неконтролируемого выброса РВ (как в пределах площадки, так и за ее пределами)».*

2. *«Пределы безопасной эксплуатации «первого типа» характеризуют наличие радиоактивных веществ и/или ионизирующих излучений в определенных проектом для нормальной эксплуатации точках»*

«К ним относятся допустимые для нормальной эксплуатации значения измеряемой величины, характеризующей содержание ядерных материалов, радиоактивных веществ и (или) уровня ионизирующего излучения в определенных зонах ОЯТЦ или на границах зон, устанавливаемые в проекте ОЯТЦ (т. е. допустимые уровни излучения; предел объемной активности в воздухе помещений и воде; предельно допустимые концентрации определенных радионуклидов в различных средах; объемная активность технологических сред; допустимый выброс из вентиляционной трубы, сброс со стоками в водоемы и т. п.). Нарушение таких пределов сразу переводит ОЯТЦ в состояние аварии».

3. *«Пределы безопасной эксплуатации «второго типа» – технологические пределы характеризуют установленные проектом граничные значения параметра технологического процесса, при которых обеспечивается безопасная эксплуатация объекта.*

К ним относятся такие параметры как нейтронный поток, давление, температура и т. д. Их нарушение приводит к аварии лишь при дополнительных условиях, т. е. в таких случаях для повреждения физического барьера, за которым находится радиоактивная среда, требуется наложение на отклонения параметра от установленного для нормальной эксплуатации значения дополнительных отказов или ошибок персонала.

Таким образом, пределы безопасной эксплуатации «второго типа» — это предельные величины технологических параметров, в пределах которых показано, что установка безопасна.

Пределы безопасной эксплуатации устанавливаются для измеряемых переменных параметров технологического процесса,

указывающих на пороговое нарушение, которое может привести к неконтролируемому процессу и выбросу радиоактивных материалов».

4. «Диапазон параметров технологического процесса, определяемый установленными пределами безопасной эксплуатации, контролируется системами безопасности, которые срабатывают при достижении контролируемыми параметрами соответствующих уставок на срабатывание.

Обычно на практике, учитывая запаздывание параметров, неточности расчетов и другие факторы, уставки назначаются с некоторым упреждением по отношению к пределам безопасной эксплуатации. В отдельных случаях уставки на срабатывание систем безопасности назначаются равными пределам безопасной эксплуатации».

5. «Отклонения параметров технологического процесса от нормальных значений и достижение ими уставок на срабатывание систем безопасности или пределов безопасной эксплуатации может иметь место при неправильном функционировании систем контроля и управления нормальной эксплуатацией (включая технологические защиты и блокировки) или при недостаточной их эффективности для компенсации возникшего возмущения».

6. «Пределы безопасной эксплуатации устанавливаются в отношении тех систем, (элементов и оборудования), которые:

- являются барьерами, предотвращающими неконтролируемый выброс РВ;

- локализуют такие выбросы;

- предотвращают возникновение СЦР».

7. «Наиболее консервативная величина для каждого параметра, установленного в ходе анализа безопасности, составляет рамки, в которых объект должен эксплуатироваться. Таким образом, если объект будет эксплуатироваться в установленных границах с учетом погрешностей измерения, последствия аварий/переходных процессов/предаварийных ситуаций на объекте являются приемлемыми».

8. «Если на ОЯТЦ превышен предел безопасной эксплуатации, то параметр должен быть незамедлительно приведен в рамки предела безопасной эксплуатации, должны предприниматься меры по переводу объекта (процесса) в стабильное, безопасное состояние, включая полный останов технологического процесса».

9. «Пределы безопасной эксплуатации регламентируют те же характеристики и параметры, которые регламентируются эксплуатационными пределами, но их значения выходят за рамки величин для нормальной эксплуатации».

«Диапазон параметров технологического процесса, значения которых относятся к эксплуатационным пределам, контролируются управляющими системами нормальной эксплуатации, включая технологические защиты и блокировки».

«Эксплуатационные пределы (англ. – operational limits) – значения параметров и характеристик состояния систем (элементов) и ОЯТЦ в целом, заданных проектом для нормальной эксплуатации. Характеристики состояния систем (элементов) – это такие величины, в том числе и непосредственно не измеряемые, которые характеризуют способность систем (элементов) выполнять возложенные на них функции, и контроль за которыми установлен для обеспечения нормальной эксплуатации. Если указанные параметры прямо не контролируются, для каждого процесса должно быть установлено соответствие между пределами повреждений барьеров безопасности и активностью реперных радионуклидов в соответствующих средах (например, в воздухе помещений)».

10. «В международной практике используются аналогичные понятия, а именно:

пределы и условия нормальной эксплуатации (англ. – operational limits and conditions);

пределы и условия безопасной эксплуатации (англ. – safety limits and conditions), которые трактуются следующим образом:

Пределы и условия безопасной эксплуатации – совокупность предельных значений параметров и набор правил, которые заранее устанавливают требования к функциональной способности и уровню рабочих характеристик оборудования и квалификации персонала, и которые одобрены регулирующим органом для безопасной эксплуатации объекта.

Пределы и условия безопасной эксплуатации описывают минимальную работоспособность систем безопасности, при которой эксплуатация установки еще остается безопасной согласно проекту. Они могут также предусматривать работу с пониженной готовностью систем в течение ограниченного времени».

В [24] приведена также следующая дополнительная информация.

«Пределы и условия нормальной (и безопасной) эксплуатации должны быть установлены для тех систем (элементов), а также параметров технологического процесса, которые соответствуют одному и более признаку из приведенных ниже:

1) контрольно-измерительные приборы, предусмотренные для управления и контроля, безопасности технологического процесса и эффективности физических барьеров, предохраняющих от

неконтролируемого выхода РВ (например, оборудование, в котором находится технологический материал).

К ним относятся измерительная аппаратура, используемая для обнаружения утечек из емкостей, перчаточных боксов и остального технологического оборудования, представляющего собой первый физический барьер, приборы радиационного контроля, а также другие измерительные приборы для измерения расхода (газа или жидкости), давления и т.п.

2) СБ (системы, которые автоматически переводят объект (процесс) в безопасное состояние, прекращающие или замедляющие технологические процессы и автоматические локализирующие системы, обеспечивающие СБ, управляющие СБ);

СВБ, отказ которых представляет угрозу целостности физического барьера, предотвращающего неконтролируемый выброс РВ.

3) параметры технологического процесса, нарушение которых является исходными событиями проектных аварий, и приводит к повреждению (нарушение герметичности) барьеров. Такие параметры должны определяться в ходе анализа переходного процесса или аварии.

4) экспериментальные установки, которые могут служить источником неконтролируемого выброса РВ или повлиять на условия ядерной безопасности. К ним относятся также экспериментальные установки, при проведении которых используются радиоактивные материалы, которые могут, при утечке, представлять угрозу для населения и работников.

5) системы (оборудование), используемые при обращении с ядерными делящимися материалами».

Рассмотрение представленных комментариев к понятию ПБЭ ОЯТЦ позволяет их систематизировать в соответствии с логической схемой, показанной на рис. 23, в виде следующих тезисов:

- цель установления ПБЭ ОЯТЦ – предотвращение неконтролируемого выброса РВ в пределах и за пределами площадки ОЯТЦ;

- перечень систем для установления ПБЭ:

- барьеры, предотвращающие неконтролируемый выброс РВ;

- барьеры, локализирующие неконтролируемый выброс РВ;

- барьеры, предотвращающие возникновение СЦР;

- характеристика параметров для установления ПБЭ:

- технологические параметры двух типов: (1) характеризующих наличие РВ и (или) ИИ, (2) обеспечивающих безопасную эксплуатацию объекта;

это измеряемые параметры;

консервативная величина для каждого параметра составляет рамки, в которых объект должен эксплуатироваться;

это параметры технологического процесса, нарушение которых является исходным процессом (событием) проектных аварий и приводит к повреждению (нарушению герметичности) барьеров;

это те же характеристики и параметры, которые регламентируются эксплуатационными пределами, заданными проектом для нормальной эксплуатации;

если параметры прямо не контролируются, должно быть установлено соответствие между пределами повреждения барьеров безопасности и активностью реперных радионуклидов;

параметры утечек из емкостей, перчаточных боксов и остального технологического оборудования, представляющего собой первый физический барьер, а также параметры измерения расхода (газа или жидкости), давления и т. п.;

это параметры, характеризующие герметичность барьеров;

параметры определяют в ходе анализа переходного процесса или аварии;

- места контроля параметров, по которым установлены ПБЭ: для ПБЭ «первого типа» – определенные зоны ОЯТЦ или границы зон, устанавливаемые в проекте ОЯТЦ;

- причины достижения ПБЭ:

- неправильное функционирование систем контроля и управления нормальной эксплуатации (включая технологические защиты и блокировки);

- недостаточная эффективность систем контроля и управления нормальной эксплуатации для компенсации возникшего возмущения;

- угроза целостности физического барьера представляет отказ СББ;

- предотвращение нарушения ПБЭ:

- осуществляется СБ, которые срабатывают при достижении контролируемыми параметрами соответствующих уставок на срабатывание (и системами СББ);

- уставки назначаются с некоторым упреждением по отношению к ПБЭ;

- в отдельных случаях уставки на срабатывание СБ назначаются равными ПБЭ;

- ПБЭ должны обеспечиваться при минимальной работе СБ и с пониженной готовностью СБ в течение ограниченного времени;

к СБ относятся системы, которые автоматически переводят объект (процесс) в безопасное состояние;

к СБ относят системы, прекращающие или замедляющие технологические процессы;

к СБ относят автоматические локализирующие системы;

СБ включают обеспечивающие и управляющие СБ;

– действия при нарушении ПБЭ:

при нарушении ПБЭ должны приниматься меры по переводу ОЯТЦ в безопасное состояние, включая полный останов технологического процесса;

– последствия нарушения ПБЭ:

нарушение ПБЭ «первого типа» сразу переводит ОЯТЦ в состояние аварии;

нарушение ПБЭ «второго типа» приводит к аварии лишь при дополнительных условиях, дополнительных отказах или ошибок персонала, приводящих к повреждению физических барьеров;

при наиболее консервативных величинах, установленных ПБЭ, последствия аварий, переходных процессов, предаварийных ситуаций на ОЯТЦ будут минимальными.

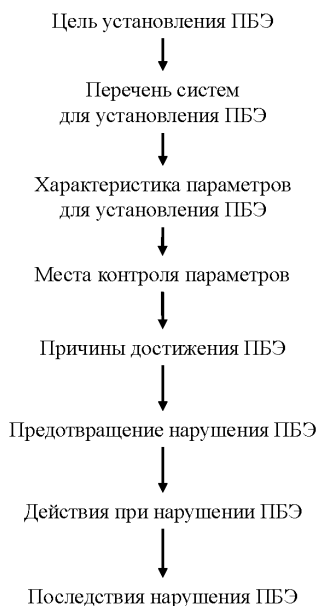


Рис. 23. Логическая схема содержания комментариев к понятию предела безопасной эксплуатации объекта ядерного топливного цикла

3.6. Сопоставление определений пределов безопасной эксплуатации для объектов ядерного топливного цикла и атомных электростанций

В разделе 3.1 отмечено, что определения ПБЭ для ОЯТЦ и блока АС однотипны относительно указанных в них следствий, возникающих при отклонении от установленных ПБЭ. И в том, и в другом определении указано, что отклонения от ПБЭ могут привести к аварии.

Вместе с тем в определение ПБЭ блока АС добавлено указание на то, что нарушение ПБЭ по радиационным параметрам является аварией. В таком случае можно полагать, что нарушение по другим (нерадиационным) параметрам может как приводить, так и не приводить к аварии на блоке АС.

Такой расширенный вариант определения ПБЭ позволяет уйти от неопределенности в установлении факта возникновения аварии при нарушении ПБЭ. Согласно определению, авария наступает и фиксируется сразу после нарушения ПБЭ по радиационному параметру. Данная фиксация должна сопровождаться выполнением требования по останову реактора.

В случае ОЯТЦ отмеченная неопределенность в фиксации факта возникновения аварии сохраняется по отношению к ПБЭ, установленным по любым параметрам технологического процесса: радиационным и нерадиационным. Следовательно, можно предположить, что для ОЯТЦ установление факта возникновения аварии относится не столько к отклонениям значений параметров технологического процесса от ПБЭ, сколько к таким отклонениям от ПБЭ, которые могут привести к нарушению какого-то другого установленного критерия ЯРБ.

Такой критерий указан в определении, приведенном в [25]: *«авария радиационная – потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями работников (персонала), стихийными бедствиями или иными причинами, которая могла привести или привела к облучению людей выше установленных норм или радиоактивному загрязнению окружающей среды»*.

Если при рассмотрении данного определения отнести формулировку *«могли привести»* – к отсутствию людей на месте возникновения аварии, но которые при нахождении на этом месте получили бы облучение выше установленных норм, то в данном случае понятие аварии непосредственно определяется нарушением установленных норм радиационной безопасности. Отсюда можно заключить, что к критериям установления факта возникновения аварии на ОЯТЦ, в соответствии

с нормами радиационной безопасности, следует отнести превышение установленных пределов доз, а также установленных норм на выброс РВ в атмосферу и сбросу жидких радиоактивных сред в водные объекты. При этом необходимо отметить, что соблюдение этих норм должно относиться и к блоку АС.

С учетом изложенных особенностей, можно оценить насколько существенно изменение в определении ПБЭ блока АС влияет на концептуальный подход к установлению и соблюдению ПБЭ в соответствии с их определением, принятым для ОЯТЦ. В практическом аспекте это связано с обоснованием допустимости или нецелесообразности распространения расширенного определения, принятого для блока АС, применительно к ОЯТЦ.

Для осуществления такой оценки можно использовать принципиальную схему, показанную на рис. 24.

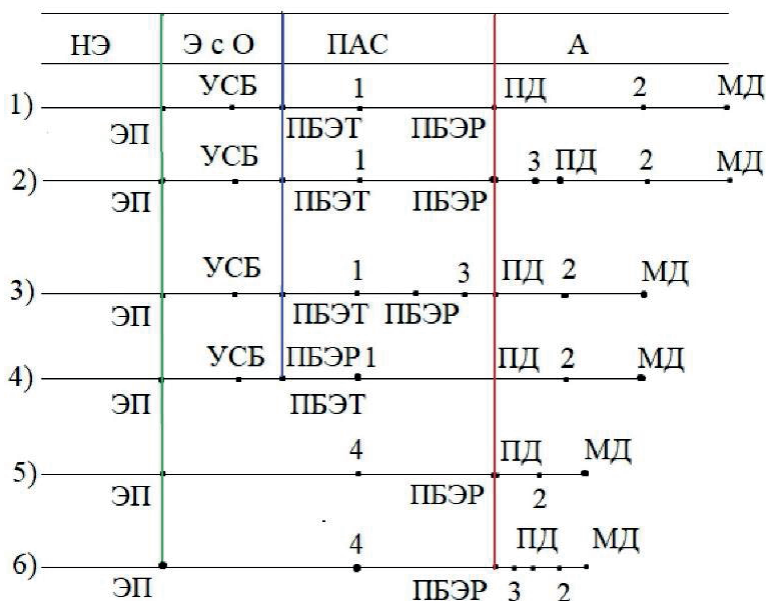


Рис. 24. Принципиальная схема вариантов взаимосвязи устанавливаемых пределов безопасной эксплуатации с аварийными состояниями объекта использования атомной энергии

В верхней части этой схемы указаны границы эксплуатационных и аварийных состояний ОИАЭ (блок АС или ОЯТЦ): нормальной эксплуатации (НЭ), эксплуатации с отклонениями (ЭСО) и, соответственно, предаварийному состоянию (ПАС) и аварии (А).

Ниже расположены варианты взаимного расположения эксплуатационного предела (ЭП), уставки срабатывания системы безопасности (УСБ), предела безопасной эксплуатации (ПБЭТ) – установленных по конкретному контролируемому технологическому параметру Т, а также ПБЭ, установленного по конкретному контролируемому радиационному параметру Р (ПБЭР), нормированного предела дозы (ПД) и максимально возможной границы диапазона изменения дозы облучения в случае возникновения аварии (МД). Для обеспечения сопоставления используемых пределов на данной схеме используется понятие эквивалентных значений технологических и радиационных параметров, которое дано в разделе 2.1.4 и применяется в [26] для приведения значений различных радиационных параметров к значениям основных доз облучения. При изображении данной схемы исходили из того, что установленный ПБЭР не может превышать ПД, а установленный ПБЭТ не может превышать ПБЭР, а также из предполагаемой соразмерности опасности применительно к блоку АС и ОЯТЦ.

Варианты 1) и 2) на рис. 24 соответствуют случаям, когда нарушение ПБЭР сразу приводит к возникновению аварии и, следовательно, к останову технологического процесса. Поскольку эти варианты рассмотрены в соответствии с определением ПБЭ, принятом для блока АС, предполагалось, что нарушение ПБЭР может привести к значительным радиационным воздействиям (большому диапазону значений между ПД и МД).

В варианте 1) принято, что ПБЭР и предел дозы ПД эквивалентны по своему значению. В соответствии с этим вариантом, одновременное нарушение ПБЭР и ПД сразу приводит к аварии, для которой ожидается, что точка 2, соответствующая возможной дозе облучения, будет находиться на значительном расстоянии от ПД. В таком случае следует принять, что при нарушении ПБЭР значение радиационного параметра не может находиться в области, относящейся к предаварийному состоянию.

Что касается ПБЭТ, то он должен находиться на границе областей ЭСО и ПАС и ему должны предшествовать уставки (УСБ) для срабатывания СБ и эксплуатационный предел по этому параметру (ЭП), как это условно показано на рис. 24. С учетом этого при нарушении ПБЭТ значение параметра Т может входить в область ПАС (точка 1) или достигать границу областей ПАС и А. Таким образом, при нарушении только ПБЭТ

авария может не произойти или произойдет в зависимости от величины нарушения ПБЭТ. При этом при достижении параметром Т границы А в данном варианте одновременно будут нарушены эквивалентные этому событию значения, относящиеся к ПБЭР и ПД.

Вариант 1) предполагает возможность не устанавливать ПБЭР, а соблюдать ПБ. Этот вариант фактически используется в концепции ПБЭ, принятой МАГАТЭ. Он также соответствует установлению ПБЭТ для параметров ядерной безопасности ОЯТЦ, так как для предотвращения неуправляемой СЦР в этом случае нет возможности использовать СБ для предотвращения нарушения ПБЭР.

Вариант 2) отличается от варианта 1) тем, что ПБЭР установлен при эквивалентных значениях меньших, чем ПД, то есть с запасом безопасности по отношению к ПД. В данном варианте нарушение ПБЭР, также как и в варианте 1), сразу приводит к аварии, согласно определению ПБЭР (принятым условиям). Однако при установлении факта аварии в этом случае могут быть как соблюдены (точка 3), так и нарушены установленные нормы радиационной безопасности (точка 2). Также как в варианте 1) при нарушении только ПБЭТ состояние ОИАЭ может соответствовать границам области ПАС.

В соответствии с принципами обеспечения радиационной безопасности (в частности, с принципом оптимизации) вариант 2) представляется более употребительным по сравнению с вариантом 1). При его реализации минимизируется риск радиационного воздействия в случае возникновения аварии на ОИАЭ.

Вариант 2) соответствует расширенному варианту определения ПБЭ, принятому для ОЯТЦ в нормативном документе [2].

Варианты 3) и 4) на рис. 24 соответствуют определению ПБЭ ОЯТЦ, когда нарушение любого установленного ПБЭ может привести к аварии, но может и не привести. При этом переход ОИАЭ в состояние аварии происходит только при нарушении ПД. На данной схеме также предусмотрено, что последствия аварии на ОЯТЦ могут быть менее значительными, чем на блоке АС (с меньшим диапазоном значений доз облучения между ПД и МД).

В варианте 3) ПБЭР установлен между ПБЭТ и ПД в области ПАС. При нарушении ПБЭР значение параметра Р может не достигать ПД (точка 3) и оставаться в области ПАС, что указывает на отсутствие аварии при его нарушении. В противном случае при нарушении ПБЭР будет нарушен ПД (точка 2), и тем самым будет установлен факт аварии (в случае облучения людей на месте аварии).

Что касается ПБЭТ, то при его нарушении значение параметра Т может не достигать (точка 1) или превышать эквивалентное значение ПБЭР

(точка 3), при нарушении которого реализуются вышеописанные случаи для варианта 3). Соответственно, при нарушении ПБЭТ и ПБЭР в области ПАС могут оставаться как значения одного параметра Т (точка 1), так и совместно значения параметров Т и Р (точка 3), как это указано на рис. 24.

Вариант 3) является типичным для установления ПБЭР для ряда ядерных установок ОЯТЦ.

Вариант 4) отличается от варианта 3) тем, что устанавливают эквивалентные значения для ПБЭТ и ПБЭР. В этом случае, как при нарушении ПБЭР, так и ПБЭТ, авария не произойдет, если значения параметров Р и Т не выйдут за пределы области ПАС (точка 1), и произойдет, если будет нарушен ПД (точка 2).

Вариант 4) предполагает возможность ограничиться установлением только ПБЭТ по управляемому технологическому параметру. В качестве примера можно указать на установление ПБЭТ по высоте падения для внутриобъектового транспортного упаковочного комплекса (ВТУК).

Варианты 3) и 4) поясняют возможность отсутствия аварии при нарушении как ПБЭТ, так и ПБЭР. Однако для их реализации требуется установление значительного запаса безопасности по отношению к соблюдению ПД или обоснование приемлемого риска последствий аварии в случае ее возникновения (не значительного превышения ПД).

В табл. № 11 суммированы условия соблюдения и нарушения ПБЭ для рассмотренных вариантов их установления.

Таблица № 11

Характеристика вариантов установления пределов безопасной эксплуатации

№	Соотношения	Условия ПАС	Условия аварии
1	$ПБЭТ < ПБЭР = ПД$	$ПБЭТ < Т < ПБЭР$	$Т = Р > ПБЭР$
2	$ПБЭТ < ПБЭР < ПД$	$ПБЭТ < Т < ПБЭР$	$Т = Р > ПБЭР$
3	$ПБЭТ < ПБЭР < ПД$	$ПБЭТ < Т < ПД$ $ПБЭР < Р < ПД$	$Т = Р > ПД$
4	$ПБЭТ = ПБЭР < ПД$	$ПБЭТ < Т < ПД$ $ПБЭР < Р < ПД$	$Т = Р > ПД$

Кроме того, в развитие подхода к учету соразмерности опасности на рис. 25 показаны также варианты 5) и 6), относящиеся к случаям, когда последствия аварии могут быть не столь значительными и относительно легко устранимыми. Для данных вариантов (которые отличаются небольшим диапазоном значений параметра Р между ПД и МД) предусмотрено установление только ПБЭР. В этом случае будет стираться

различие между областями ЭСО и ПАС и область нормальной эксплуатации будет отделена от области аварии только одной переходной областью.

В варианте 5) ПБЭР установлен эквивалентно с ПД. При нарушении ЭП значение параметра Р может не достигать ПБЭР (точка 4) или превышать ПД (точка 2), что потребует останов технологического процесса и ликвидацию превышения ПД.

Вариант 5) предполагает возможность не устанавливать ПБЭР, а соблюдать ЭП и ПД.

Вариант 6) отличается от варианта 5) тем, что ПБЭР устанавливают с запасом по отношению к ПД. В этом случае превышение установленного ПБЭ может не привести к аварии (точка 4), привести к аварии при превышении ПБЭР (точка 3), но не к превышению ПД или привести и к нарушению ПД (точка 2).

Варианты 5) и 6) возможны для использования для ПХ и РИ при использовании на данных ОЯТЦ относительно небольших количеств РВ.

На основании рассмотрения рис. 25 и табл. № 11 можно представить следующие соображения по поводу сделанного в комментариях [14] утверждения о том, что несмотря на расширение определения ПБЭ для блока АС *«по существу оно не изменилось»*:

- во-первых, можно отметить возможность разного подхода к выбору (предпочтению для обоснования) критерия для фиксации факта аварии: в одном случае критерием возникновения аварии подразумевается установленная норма радиационной безопасности (ПД), в другом – является установленный предел по радиационному параметру (ПБЭР), который с учетом запаса безопасности не может превышать ПД;

- вторым концептуальным отличием является то, что в одном случае при нарушении ПБЭР сразу фиксируется переход блока АС в аварийное состояние и требуется незамедлительный останов реактора, во втором случае – авария может быть не зафиксирована при нарушении ПБЭР, если при этом не были нарушены ПД, что избавляет от немедленного останова технологического процесса ОЯТЦ;

- далее, обращает на себя внимание необходимость использования различного концептуального подхода, относящегося к учету соразмерности опасностей, характерных для блока АС и ОЯТЦ. Для блока АС предполагается установление большего запаса безопасности относительно установленного ПД (общего для блока АС и ОЯТЦ) в сравнении с ОЯТЦ, что обуславливает необходимость использования или более эффективных систем безопасности или увеличения запаса безопасности для уставки срабатывания систем безопасности; Для некоторых ОЯТЦ допустимы

незначительные и устранимые нарушения ПБЭР, что становится недопустимым в соответствии с расширенным определением для блока АС.

Очевидно, что приведенные соображения имеют самый общий характер. Для конкретных случаев следует учитывать дополнительные отличительные особенности установления и соблюдения ПБЭ. Это свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода к обоснованию вариантов установления ПБЭ для разных типов ОИАЭ, а, следовательно, и к вариантам концепций ПБЭ для различных типов ОИАЭ. Тогда на основе систематизации и обобщения представляется возможным разработка единой концепции ПБЭ ОЯТЦ, с общими концептуальными положениями и определениями терминов.

3.7. Возможности применения концепции пределов безопасной эксплуатации Международным агентством по атомной энергии для объектов ядерного топливного цикла

В заключение главы 3 представляется целесообразным оценить насколько система концептуальных положений, которые изложены в нормативных документах РФ применительно к ПБЭ, соотносится с анализируемой в главе 2 концепцией ПБЭ, принятой МАГАТЭ для АС.

Для этого можно ограничиться сравнением концептуальных схем, представленных на рис. 11–15 в главе 2 со схемами, изображенными на рис. 18–23 в данной главе. Такое сравнение позволяет отметить значительную концептуальную схожесть концепции МАГАТЭ и системы концептуальных положений, используемых в РФ, в основных чертах.

Действительно, все пять основополагающих элементов структуры концепции МАГАТЭ, показанных на рис. 11–15, в обязательном порядке присутствуют и в требованиях нормативных документов РФ, а целый ряд концептуальных положений и в той, и в другой системах практически дублируются. Вместе с тем нельзя не заметить определенную специфику используемых подходов в документах МАГАТЭ и РФ.

В самых общих чертах можно выделить следующие отличительные признаки этих подходов:

- в концепции МАГАТЭ конкретизируется принцип достижения цели установления ПБЭ для блока АС: это не в общем виде предотвращение нарушения целостности физического барьера, а именно двух барьеров и именно барьеров, вмещающих РВ – оболочки топлива и границы давления контура теплоносителя (рис. 12). Очевидно, что такая конкретизация не принята для нормативных документов РФ и позволительно отсутствует в общих требованиях, отражающих концептуальные положения;

– для третьего элемента структуры концепции МАГАТЭ (рис. 13) в качестве существенной задачи при проведении оценки потенциальной опасности с использованием консервативного подхода является, наряду с выявлением самих опасностей, выявление таких неопределенностей, которые могут влиять на установление приемлемых значений ПБЭ;

– в схеме установления ПБЭ по концепции МАГАТЭ рассматриваются два типа параметров эксплуатации, для которых установление ПБЭ осуществляют разными способами: как максимально приемлемые значения для параметров, которые непосредственно определяют целостность физических барьеров, и как проектные значения для параметров, влияющих на параметры первого типа (рис. 14). При этом оба типа не относятся к радиационным параметрам. Причина этого может быть обусловлена тем, что в концепции МАГАТЭ соблюдение норм радиационной безопасности непосредственно обеспечивается соблюдением целостности и надежности установленных физических барьеров.

– в схеме установления ПБЭ (рис. 14) непосредственно указано, что ПБЭ считается установленным только после положительного результата независимой экспертизы и последующего одобрения органом, регулирующим безопасность;

– в схеме соблюдения ПБЭ по концепции МАГАТЭ (рис. 15) непосредственно указывается, что соблюдение ПБЭ обеспечивается уровнем надежности проектируемого оборудования, систем контроля и управления, СБ;

– в этой же схеме (рис. 15) непосредственно указано, что контроль за соблюдением ПБЭ осуществляется помимо персонала, также и со стороны внешнего надзора за обеспечением безопасности;

– в схеме на рис. 15 конкретизируется, что останов реактора необходимо осуществлять при нарушении любого из установленных ПБЭ.

Это не значит, что все указанные особенности, не сформулированные в концептуальных положениях, относящихся к ПБЭ, отсутствуют в нормативных документах РФ. Например, требования к необходимой для предотвращения нарушений ПБЭ надежности систем безопасности применительно к ОЯТЦ подробно изложена в отдельном разделе [2], посвященном СБ. Здесь речь идет только о формулировках, используемых в самих концептуальных положениях.

С другой стороны, нельзя не отметить и более проработанные, чем в концепции МАГАТЭ, положения, изложенные в нормативных документах РФ.

Это относится к следующим концептуальным положениям:

- детальному изложению последовательности предотвращения нарушения ПБЭ системами управления нормальной эксплуатации и СБ (рис. 20);
- детальному изложению требований, обеспечивающих контроль за значениями параметров в процессе достижения ПБЭ (рис. 19);
- в схеме на рис. 20 непосредственно указано, при каких условиях отказа СБ в случае нарушения ПБЭ не будут нарушены пределы, установленные для проектной аварии.

Таким образом, можно заключить, что формулировки, приведенные в концепции ПБЭ, принятой МАГАТЭ, и в системе концептуальных положений, относящихся к ПБЭ, которые приведены в нормативных документах РФ, концептуально не противоречат друг другу, а могут быть использованы в качестве дополнительной информации, более полно раскрывающей понятие ПБЭ и подходы к их использованию.

Вместе с тем следует отметить, что не все концептуальные положения, используемые для блока АС, достаточны для ОЯТЦ, что обусловлено их отличительными особенностями.

В п. 1.1.2 на основании анализа специфики установок ЯТЦ показано, что указанные там существенные отличия делают необходимым их учет при оценке возможности применения концепции ПБЭ блока АС для ОЯТЦ и в случае необходимости разработки собственной концепции ПБЭ ОЯТЦ.

В комментариях [24] отмечены также следующие существенные отличия обеспечения безопасности ОЯТЦ и блока АС:

- «защитные системы обеспечивают надежный аварийный останов реактора и поддержание его в подкритическом состоянии в любых режимах нормальной эксплуатации и нарушений нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, т.е. выполняют функцию управления СЦР в реакторе, что совершенно не характерно для предприятий топливного цикла»;
- «для ОЯТЦ тем не менее существуют свои функции безопасности (**защитные действия**), для выполнения которых должны быть предусмотрены соответствующие «защитные» системы безопасности, например, по экстренному останову технологического процесса в особо опасных ситуациях или аварийному теплоотводу (пример, – экстренное охлаждение смеси в закрытом экстракционном аппарате). Эти функции являются по существу **защитными функциями**»;
- «применение термина защитных СБ (а именно, СУЗ), выполняющих функцию управления СЦР в реакторе, не характерно для

ОЯТЦ, где не предусмотрено управление критичностью, и может быть неадекватно истолковано».

При ознакомлении с приведенным перечнем отличительных особенностей ОЯТЦ возникает вопрос о том, насколько эти отличия существенны с точки зрения необходимости корректировки рассмотренной концепции МАГАТЭ. Для нахождения ответа на этот вопрос требуется уточнение содержания сформулированных отличительных признаков ОЯТЦ в сравнении с блоком АС.

На основании выявленных существенных отличительных признаков ОЯТЦ, по сравнению с блоком АС, можно оценить возможность использования концепции МАГАТЭ применительно к ОЯТЦ.

Концепция МАГАТЭ рассматривает технологический процесс на АС, происходящий в герметичных и замкнутых системах: в оболочках топлива, в контуре теплоносителя, в которых РВ должны быть локализованы в течение всего срока эксплуатации. Поэтому для АС цель обеспечения безопасности состоит в предотвращении недопустимых выбросов РВ за пределы станции, что должно обеспечиваться предотвращением нарушения целостности физических барьеров, вмещающих РВ посредством установления ПБЭ для параметров эксплуатации, влияющих на целостность этих физических барьеров.

Данные цель и принцип установления ПБЭ применимы и для ряда ОЯТЦ, в которых технологический процесс осуществляют в герметичных и замкнутых системах. Однако указанные цель и принцип не соотносятся с обеспечением безопасности для открытых и связанных друг с другом и окружающей средой систем ОЯТЦ. Для них недопустимый выход РВ за пределы ОЯТЦ может происходить и при соблюдении целостности физических барьеров, локализующих РВ. Кроме того, для герметичных систем ОЯТЦ может происходить недопустимый выход ИИ при отсутствии выхода РВ за пределы этих систем.

Это означает, что основной (общей) целью установления ПБЭ для ОЯТЦ следует считать предотвращение недопустимого выхода ИИ за пределы ОЯТЦ. Тогда предотвращение недопустимого выхода РВ будет являться составной частью общей цели установления ПБЭ ОЯТЦ. Очевидно, что достижению общей цели должен соответствовать и дополнительный принцип установления ПБЭ.

Недопустимый выход ИИ может происходить в следующих случаях:

- при протекании неуправляемой СЦР при нарушении критических значений параметров ядерной безопасности (массы, объема, концентрации, диаметра сосуда, толщины слоя [27]);

– при локальном неуправляемом накоплении РВ, РАО в оборудовании ОЯТЦ, в случае превышения критических значений удельной активности.

Кроме того, недопустимый выход ИИ, в том числе и вследствие недопустимого выхода РВ, может происходить в результате протекания неуправляемых химических экзотермических реакций, приводящих к возникновению пожаров и взрывов, вследствие нарушения критических значений показателей пожаровзрывоопасности (температурных, концентрационных, размерных, энергетических [28]).

Все перечисленные случаи связаны с недопустимым накоплением РВ, ЯМ, РАО и ПВОВ, которое можно характеризовать общим фактором: критическим значением их концентрации, которая, в свою очередь, функционально связана с другими параметрами технологического процесса. С учетом этого можно сформулировать принцип достижения цели предотвращения недопустимого выхода ИИ за пределы ОЯТЦ: предотвращение недопустимого концентрирования РВ, ЯМ, РАО и ПВОВ в ОЯТЦ.

Такой подход позволяет представить ядро концепции ПБЭ ОЯТЦ в виде схемы, показанной на рис. 25.

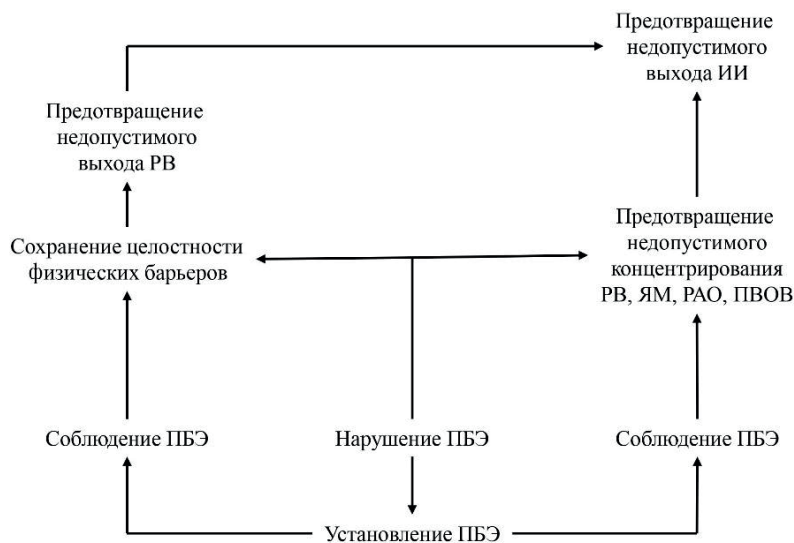


Рис. 25. Блок-схема ядра структуры концепции пределов безопасной эксплуатации для объектов ядерного топливного цикла

Согласно схеме, представленной на рис. 25:

- ПБЭ устанавливаются для параметров технологического процесса, влияющих на целостность физических барьеров, вмещающих РВ, на концентрацию РВ, ЯМ, РАО, ПВОВ и параметры функционально связанные с их концентрацией;
- при соблюдении установленных ПБЭ должна сохраняться целостность физических барьеров, вмещающих РВ, ЯМ, РАО, и не достигаться недопустимое накопление РВ, ЯМ, РАО, ПВОВ в ОЯТЦ, а также должно обеспечиваться предотвращение недопустимого выхода РВ и ИИ за пределы ОЯТЦ;
- при нарушении установленных ПБЭ по параметрам, влияющим на целостность физических барьеров, вмещающих РВ, может произойти недопустимый выход РВ и ИИ;
- при нарушении установленных ПБЭ по концентрации РВ, ЯМ, РАО, ПВОВ и параметрам функционально связанным с ними, может произойти недопустимый выход ИИ, а в случае с ЯМ и ПВОВ также недопустимый выход РВ в результате аварийного взрыва;
- в случае нарушения установленных ПБЭ следует обеспечить останов технологического процесса, выяснить причины нарушения ПБЭ и оптимизировать ПБЭ для продолжения эксплуатации ОЯТЦ.

При этом положения концепции МАГАТЭ, приведенные в главе 2 применительно к установлению, соблюдению и нарушению ПБЭ, представляются приемлемыми и применительно к ОЯТЦ.

Предложенный подход может быть использован при обосновании и разработке концепции ПБЭ ОЯТЦ.

Список литературы

1. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Пределы и условия для эксплуатации и эксплуатационные процедуры для атомных электростанций. Руководства. № NS-G-2.2. МАГАТЭ. – Вена, 2004.
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ). НП-016-05: утверждены с изменением приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28 июля 2014 г. № 326.
3. Приложения к нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009. – М.: Роспотребнадзор, 2009.
4. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Об использовании атомной энергии: Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ.
6. О радиационной безопасности населения: Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ.
7. Термины и определения по ядерной и радиационной безопасности. Глоссарий. – М.: НТЦ ЯРБ, 2004.
8. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Безопасность установок ядерного топливного цикла. Конкретные требования по безопасности. № SSR-4. МАГАТЭ. – Вена, 2018.
9. Чудинов А. Н. Словарь иностранных слов, вошедших в состав русского языка. 1910.
10. Новый энциклопедический словарь. – М.: «Рипол Классик», 2002.
11. Лопатин В. В., Лопатина Л. Е. Малый толковый словарь русского языка. – М.: «Русский язык», 1990.
12. Оствальд В. Натурфилософия. – М.: КомКнига, 2011.
13. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности атомных станций с реакторами на быстрых нейтронах. НП-018-05: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 2 декабря 2005 г. № 9.
14. Комментарии к Федеральным нормам и правилам «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15). РБ-152-18. – ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2019.
15. Безопасность ядерного топливного цикла. АЯЭ ОЭСР. – М.: Информатом, 2002.

16. Философский энциклопедический словарь. – М.: «Советская энциклопедия», 1989.
17. Гордон Б. Г. Идеология безопасности/ Труды «НТЦ ЯРБ». – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2006.
18. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. НП-001-15: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2015 г. № 522.
19. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников. НП-038-16: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28 сентября 2016 г. № 405.
20. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности исследовательских ядерных установок. НП-033-11: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 июля 2011 г. № 348.
21. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила обеспечения безопасности при временном хранении радиоактивных отходов, образующихся при добыче, переработке и использовании полезных ископаемых. НП-052-04: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. № 4.
22. Большая советская энциклопедия. – М.: СЭ, 1972.
23. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Требования к отчету по обоснованию безопасности ядерных установок ядерного топливного цикла. НП-051-04: утверждены постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 4 октября 2004 г. № 3.
24. Комментарии к «Общим положениям обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ)». НП-016-2000. – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2003.
25. Приложения к нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009. – М., 2009.
26. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. – М., 2009.
27. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила ядерной безопасности для объектов ядерного топливного цикла. НП-063-05: утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 января 2005 г., № 15.

28. Соколов И. П., Понизов А. В., Шарафутдинов Р. Б. Введение в обеспечение взрывобезопасности объектов ядерного топливного цикла. Часть 2. Система нормативного обеспечения взрывобезопасности объектов ядерного топливного цикла / Труды «НТЦ ЯРБ». – М.: ФБУ «НТЦ ЯРБ», 2021.

Сведения об авторах

Соколов И. П. – доктор химических наук, профессор. Лауреат Премии Правительства Российской Федерации за работу, посвященную обеспечению промышленной и экологической безопасности. Автор более 100 научных публикаций и изобретений в области химической технологии радиоактивных элементов, включая более 10 научных публикаций в области обеспечения взрывобезопасности объектов ядерного топливного цикла, участник разработки федеральных норм и правил в области использования атомной энергии и руководств по безопасности при использовании атомной энергии.

Понизов А. В. – кандидат технических наук. Является ведущим специалистом в области использования атомной энергии по направлениям, связанным с обеспечением безопасности объектов ядерного топливного цикла, выводом из эксплуатации (закрытием) ядерно- и радиационно опасных объектов и охраной окружающей среды, а также обращением с радиоактивными отходами. Является автором более 100 научных публикаций по тематике обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами. Член Общественного совета Госкорпорации «Росатом» по вопросам взаимодействия с общественностью в части обращения с радиоактивными отходами, отработавшим ядерным топливом, вывода из эксплуатации ядерно- и радиационно опасных объектов и реабилитации их территорий.

Шарафутдинов Р. Б. – кандидат технических наук, заслуженный энергетик Российской Федерации. Является ведущим ученым-практиком в атомной промышленности, специализируется в области разработки научно-методических основ регулирования безопасности объектов использования атомной энергии. Внес существенный вклад в разработку Федеральных законов «О радиационной безопасности населения», «Об использовании атомной энергии», «Об обращении с радиоактивными отходами». Имеет более 100 научных публикаций. Член Российской национальной комиссии по радиологической защите.

ТРУДЫ НТЦ ЯРБ

*И. П. Соколов, А. В. Понизов, Р. Б. Шарафутдинов
(ФБУ «НТЦ ЯРБ»)*

ВВЕДЕНИЕ В КОНЦЕПЦИЮ ПРЕДЕЛОВ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Часть 1. Концептуальные положения нормативных документов

Ответственный за выпуск Н. Р. Большакова
Редактор Т. А. Красотина
Оригинал-макет подготовлен в ФБУ «НТЦ ЯРБ»

Подписано в печать 15.07.2024
Тираж 150 экз.
Формат 70×100^{1/16}
Отпечатано в ООО «Кировская областная типография»

Система менеджмента качества
ФБУ «НТЦ ЯРБ» сертифицирована
на соответствие требованиям
международного стандарта
ISO 9001:2015
и национального стандарта
Российской Федерации
ГОСТ Р ИСО 9001-2015

ISBN 978-5-907011-57-1

