

А.В. Антонов¹, Г.А. Ершов², О.И. Морозова¹

(¹Обнинский институт атомной энергетики; ²Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ"; e-mail: OIMorozova@yandex.ru)

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ ЗА СЧЁТ СОКРАЩЕНИЯ ПРОСТОЕВ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ

Разработан метод повышения экономической эффективности энергоблоков атомных станций за счёт сокращения их простоев при плановых технических обслуживаниях и ремонтах оборудования.

Ключевые слова: энергоблок атомной станции, экономическая эффективность.

A.V. Antonov, G.A. Ershov, O.I. Morozova

INCREASE THE ECONOMIC EFFICIENCY OF NUCLEAR POWER PLANTS BY REDUCING DOWNTIME DURING MAINTENANCE AND REPAIR

A method for improving the economic efficiency of units of nuclear power plants by reducing their downtime during planned maintenance and repair are developed.

Key words: unit of nuclear power plant, economic viability.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 7 июля 2014 г.

Введение

Каждый *энергоблок атомной станции (ЭБ АС)* – это элемент топливно-энергетического комплекса, основной задачей которого является выработка электроэнергии. Доля "атомной" электроэнергии в топливно-энергетическом комплексе зависит от уровня экономической эффективности ЭБ АС, который оценивается различными коэффициентами [10], среди которых наибольшее распространение получил *коэффициент использования установленной мощности (КИУМ)*. Этот коэффициент (1) учитывает отношение фактически выработанной электроэнергии на ЭБ АС за отчетный период к электроэнергии, которую ЭБ АС мог бы выработать в условиях непрерывной работы на номинальном уровне мощности:

$$КИУМ = \frac{E}{N_y \times T_{пер}} \times 100 \%, \quad (1)$$

где E – фактическая выработка электроэнергии на ЭБ АС за отчетный период, $МВт \cdot ч$;

N_y – номинальная электрическая мощность ЭБ АС, $МВт$;

$T_{пер}$ – продолжительность отчетного периода, $ч$.

Величина КИУМ зависит от технических и технологических решений, реализованных в проекте ЭБ АС, особенностей проведения плановых и внеплановых *технических обслуживаний и ремонтов (ТОиР)* оборудования ЭБ АС, количества нарушений в работе ЭБ АС (вследствие ошибочных действий персонала и/или из-за дефектов/отказов оборудования), внешних факторов, объективно влияющих на условия работы ЭБ АС (например, специальные испытания, выполняемые в целях проверки опыта других ЭБ АС) [10].

Кроме вышеизложенного следует учитывать, что ЭБ АС – это опасный производственный объект, поэтому именно его безопасность, а не экономическая эффективность (КИУМ) представляет наибольший "интерес" для широкой общественности. Следовательно, конкурентоспособность ЭБ АС на рынке производства электроэнергии определяется как экономической эффективностью ЭБ АС, так и уровнем их безопасности.

Повышение экономической эффективности ЭБ АС

На практике наибольший вклад в снижение КИУМ вносят остановы ЭБ АС на проведение плановых ТОиР оборудования, в особенности на проведение *планово-предупредительных ремонтов (ППР)* [5, 6]. Следовательно, очевидным способом КИУМ ЭБ АС является сокращение простоев ЭБ АС при плановых ТОиР (ППР).

Сократить простои ЭБ АС при плановых ТОиР (ППР) оборудования можно за счёт пересмотра принятых стратегий проведения ТОиР (ППР) с позиций обоснования возможности сокращения сроков их проведения путём вывода в параллельные ТОиР (ППР) большего числа оборудования, по сравнению с действующей стратегией проведения плановых ТОиР (ППР), например, за счёт одновременного вывода в плановые ТОиР (ППР) либо сразу нескольких каналов безопасности какой-либо системы, либо части оборудования одного канала данной системы и части оборудования другого канала той же системы – метод повышения экономической эффективности ЭБ АС за счёт сокращения их простоев при плановых ТОиР (ППР) оборудования.

Влияние плановых ТОиР (ППР) на безопасность ЭБ АС

Основная цель проведения плановых (ровно, как и внеплановых) ТОиР оборудования ЭБ АС заключается в поддержании заданного уровня надежности систем безопасности ЭБ АС путем обнаружения и устранения возникающих отказов с тем, чтобы в необходимый момент времени требуемая система (оборудование) находилась в работоспособном состоянии и выполнила поставленную задачу (функцию) [7, 10].

Периодический контроль работоспособности оборудования ЭБ АС осуществляется через определенные промежутки времени; выполняется как при функционировании ЭБ АС на мощности, так и во время останова ЭБ АС на ППР. Периодический контроль работоспособности большинства оборудования систем безопасности ЭБ АС производится за счёт приведения их из состояния ожидания в состояние работы при аварии, то есть за счёт, например, запуска насосов, закрытия или открытия арматуры, срабатывания элементов управляющих систем и др.

Поэтому, как правило, для предотвращения срабатывания систем безопасности во время периодической проверки работоспособности контролируемого оборудования проводятся специальные мероприятия, которые исключают функционирование проверяемых систем безопасности по их прямому назначению, если таковое может привести к нарушению нормальной ЭБ АС.

В этих случаях контролируемое оборудование проверяемой системы безопасности переводится в неработоспособное состояние (из эксплуатации выводится, например, весь канал безопасности, к которому относится контролируемое оборудование), и, как следствие, на время контроля снижается кратность резервирования оборудования проверяемой системы безопасности. В результате подобные манипуляции обуславливают ухудшение показателей надежности проверяемой системы безопасности и, соответственно, снижение безопасности ЭБ АС в целом [1, 7, 9].

Важнейшим видом плановых ТОиР ЭБ АС является ППР. Как правило, проведение ППР совмещается с проведением перегрузки (частичной или полной) активной зоны реактора ЭБ АС, что обуславливает особые режимы функционирования ЭБ АС. Например, на ЭБ АС с реактором типа ВВЭР работы по перегрузке активной зоны ведутся на разуплотненном 1-м контуре, то есть в условиях отсутствия третьего физического барьера безопасности. Возрастает вероятность снижения концентрации бора в теплоносителе 1-го контура и вероятность ошибок персонала при обращении с отработавшим и свежим **ядерным топливом (ЯТ)**.

В этих условиях особое внимание уделяется контролю и обеспечению **подкритичности ЭБ АС (первой фундаментальной функции безопасности)**, а также выполнению производимых работ в соответствии с правилами ядерной и радиационной безопасности.

Производимые во время ППР разнообразные работы на оборудовании ЭБ АС, а также выполняемые технические и технологические операции на контурах охлаждения ЭБ АС могут обуславливать потерю охлаждения ЯТ. По этой причине при проведении ППР и при изменении состояния систем теплоотвода от ЯТ постоянно контролируется и обеспечивается **вторая фундаментальная функция безопасности – охлаждение ЯТ**.

Кроме того, при проведении ППР на ЭБ АС открываются шлюзы и разуплотняется герметичное ограждение (четвертый барьер безопасности), что ведет к возрастанию важности обеспечения **третьей фундаментальной функции безопасности – локализации и удержанию радиоактивных веществ** [7, 8]. Иными словами, **проведение ППР ЭБ АС**, особенно, если ППР совмещается с перегрузкой активной зоны реактора (частичной или полной), представляет собой **одно из самых ядерно-опасных состояний ЭБ АС**.

Таким образом, можно заключить, что в общем случае плановые ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС оказывает своего рода "двойное" влияние на безопасность ЭБ АС. С одной стороны, плановые ТОиР (ППР) имеют своей целью обеспечить безопасность ЭБ АС в любой момент времени. С другой стороны, плановые ТОиР оборудования (в особенности ППР) уже сами по себе влияют

на уровень безопасности ЭБ АС ввиду того, что их проведение связано со снижением кратности резервирования систем безопасности ЭБ АС, с изменением числа блокировок, защит и т.д.

Учитывая вышесказанное, становится очевидным, что по сравнению с проведением "обычных", не направленных на повышение КИУМ ЭБ АС, плановых ТОиР (ППР) оборудования, проведение плановых ТОиР (ППР), ориентированных на повышение КИУМ ЭБ АС, оказывает еще большее влияние на снижение уровня безопасности ЭБ АС, так как подобного рода плановые ТОиР (ППР) "провоцируют" дополнительное снижение кратности резервирования оборудования ЭБ АС из-за вывода в параллельный ремонт большего числа оборудования, по сравнению с принятыми (действующими) стратегиями проведения плановых ТОиР (ППР).

Методы анализа безопасности ЭБ АС

Безопасность ЭБ АС зависит от многообразия технических, технологических, организационных и других факторов. Анализ уровня безопасности ЭБ АС требует четкого понимания взаимосвязи процессов, протекающих на ЭБ АС, и/или процессов, оказывающих влияние (в том числе потенциальное) на различные конфигурации ЭБ АС [1, 3, 6, 7, 9].

Традиционно для анализа безопасности ЭБ АС применяется *детерминистский анализ безопасности (ДАБ)*. ДАБ используется для качественного подтверждения того, что поведение ЭБ АС и функционирование его защитных, локализирующих и обеспечивающих систем в процессе развития анализируемой аварии удовлетворяют соответствующим проектным требованиям, предъявляемым к обеспечению безопасности ЭБ АС. Применение ДАБ позволяет в явном виде устанавливать основные факторы, определяющие последовательности развития аварии на ЭБ АС.

Основным преимуществом ДАБ является то, что данный метод хорошо развит и детально проработан, а также то, что накоплен огромный опыт в области применения указанного метода в отношении всех типов ядерных объектов. Применение ДАБ во многом способствовало и способствует обеспечению высокой безопасности ЭБ АС [1, 3]. Тем не менее, ДАБ не позволяет учитывать все аспекты обеспечения безопасности ЭБ АС, а значит, использование ДАБ не позволяет в полной мере устанавливать четкие приоритеты безопасности при ЭБ АС [1, 3].

Мировой опыт свидетельствует, что одним из наиболее эффективных методов анализа и обеспечения безопасности ЭБ АС является метод *вероятностного анализа безопасности (ВАБ)*. ВАБ применяется для проведения количественных исследований безопасности ЭБ АС; в условиях острых дебатов вокруг приемлемости уровня безопасности ЭБ АС ВАБ рассматривается в качестве единственного инструмента, позволяющего осуществлять комплексную оценку уровня безопасности ЭБ АС на всех этапах жизненного цикла ЭБ АС.

ВАБ, в отличие от ДАБ, позволяет анализировать (и выявлять) неявные взаимосвязи факторов и процессов, нарушающих и/или вносящих возмущения в условия стабильного безопасного функционирования ЭБ АС при любой его конфигурации. Тем не менее, в полной мере ВАБ не может заменить ДАБ [3, 7, 9].

Системный подход, обеспечивающий полноту, всесторонность анализа и углубленную качественную и количественную оценку уровня безопасности ЭБ АС, получил широкое распространение под названием "*риск-информативного подхода*" [1, 3, 5]. Риск-информативный подход – это комплексный метод оценки уровня безопасности ЭБ АС, основанный на совместном использовании результатов ВАБ и ДАБ, требований различных нормативно-технических документов, опыта не только конкретного ЭБ АС, но и аналогичных ЭБ АС, достигнутого уровня науки и техники. Применение риск-информативного подхода способствует эффективному обеспечению безопасности ЭБ АС, так как данный метод позволяет, например, [4, 8], выявлять наиболее важные для безопасности аспекты ЭБ АС (например, иницирующие события, аварийные последовательности, элементы ЭБ АС, действия персонала и проч.); оценивать влияние мер по модернизации ЭБ АС на уровень безопасности ЭБ АС; разрабатывать меры, направленные на снижение рисков от ЭБ АС при любой конфигурации последнего, и определять приоритеты их реализаций; обосновывать условия безопасности ЭБ АС.

В части повышения КИУМ ЭБ АС, применение риск-информативного подхода позволяет анализировать стратегии проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС именно с позиций обеспечения требуемого уровня безопасности ЭБ АС при любой конфигурации последнего.

Оценка приемлемости уровня безопасности ЭБ АС

В настоящее время оценка уровня безопасности ЭБ АС основана на сравнении фактических значений *вероятностных показателей безопасности (ВПБ)* анализируемого ЭБ АС (ВПБ ЭБ АС рассчитываются в рамках ВАБ и измеряются в терминах вероятности (частоты) повреждения ЯТ и/или вероятности (частоты) превышения предельного аварийного выброса) с установленными в нормативных документах целевыми значениями ВПБ [6].

Уровень безопасности ЭБ АС оценивается как приемлемый, если фактические значения ВПБ ЭБ АС не превышают установленные целевые значения [6, 7].

Следует отметить, что целевые значения ВПБ [6] обязательны к применению для тех ЭБ АС, проекты которых разрабатываются после ввода в действие документа [6] (так называемые "новые" ЭБ АС). Аналогичные целевые значения ВПБ для действующих ЭБ АС, проекты которых разработаны до введения в действие документа [6] (так называемые "старые" ЭБ АС), в нормативных документах отсутствуют. На практике это означает, что при "новых" ЭБ АС необходимо стремиться, чтобы фактические значения ВПБ соответствовали требованиям документа [6] или были лучше, а при "старых" ЭБ АС – чтобы фактические значения ВПБ были как можно ближе к установленным в документе [6] целевым значениям.

Метод повышения экономической эффективности ЭБ АС за счёт сокращения простоев при плановых ТОиР (ППР) оборудования

Стратегии проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС являются выверенными как с точки зрения периодичности и объёма выполняемых работ, так и с точки зрения последовательности производимых технических и технологических операций [7]. Учитывая это, внесение изменений в действующие стратегии проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования в целях повышения КИУМ ЭБ АС предлагается осуществлять "по безопасности", а не "по технологии", так как технология проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС представляет собой чисто инженерную задачу, связанную, как правило, с применением новых методов, способов, подходов и т.п.

Необходимо отдельно подчеркнуть, что реализация предлагаемого способа повышения КИУМ ЭБ АС подразумевает отступление от требований технологического регламента в части кратности резервирования оборудования систем ЭБ АС во время проведения плановых ТОиР (ППР), что, как результат, приводит к еще большему ухудшению надежности рассматриваемой системы при выполнении заданных функций: как говорилось ранее, проведение плановых ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС связано с выводом из некоторого оборудования, то есть связано со снижением кратности резервирования рассматриваемого оборудования; реализация предлагаемого метода повышения КИУМ ЭБ АС подразумевает вывод из дополнительного оборудования (то есть оборудования, выводимого в плановые ТОиР (ППР) помимо того, которое выводится в плановые ТОиР (ППР) в соответствии с действующей стратегией проведения плановых ТОиР (ППР)), что, как результат, обуславливает еще большее снижение кратности резервирования рассматриваемого оборудования. Иными словами, разработанный метод основан на предположении, что если требуемый документом [6] уровень безопасности ЭБ АС будет обеспечен, то помимо основного оборудования в плановые ТОиР (ППР) также одновременно можно выводить дополнительное оборудование, то есть то оборудование, параллельный вывод в плановые ТОиР (ППР) которого запрещен требованиями технологического регламента.

Оценка приемлемости изменений в уровне безопасности ЭБ АС при реализации предлагаемых конфигураций ЭБ АС, связанных с выводом в плановые ТОиР (ППР) дополнительного оборудования, может осуществляться по значению фактора повышения риска *RIF* (Risk Increase Factor), который в общем случае используется для [1] выявления недостатков проекта ЭБ АС; обнаружения таких отказов систем, оборудования систем, ошибок персонала ЭБ АС и проч., реализация которых является недопустимой, с точки зрения обеспечения требуемого документом [6] уровня безопасности ЭБ АС.

Фактор повышения риска *RIF*, рассчитываемый по формуле (2), представляет собой отношение результатов расчёта уровня безопасности ЭБ АС при реализации анализируемого способа повышения КИУМ ЭБ АС (по сравнению с действующими ("обычными"), стратегиями проведения плановых ТОиР (ППР) в плановые ТОиР (ППР) параллельно выведено большее количество

оборудования, $VПБ_i$) и результатов расчёта уровня безопасности ЭБ АС при базовой конфигурации ЭБ АС (оборудование выведено в плановые ТОиР (ППР) в соответствии с действующими ("обычными") стратегиями проведения ТОиР (ППР), $VПБ_0$):

$$RIF_i = VПБ_i / VПБ_0. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет учитывать конфигурации ЭБ АС, определяемые текущим режимом работы и фактическим состоянием оборудования ЭБ АС, а именно формула (2) позволяет учитывать, что в каждый момент времени конфигурация ЭБ АС определяется такими характеристиками состояний оборудования ЭБ АС, как нахождение в работе, нахождение в резерве (в режиме ожидания на требование), нахождение в режиме испытаний, нахождение в ремонте или на техобслуживании (выведен из эксплуатации) [7]. Изменение конфигурации ЭБ АС происходит с изменением состояния и/или режима работы любого из его компонентов. При этом каждому варианту конфигурации ЭБ АС свойственны свои $VПБ$. Следовательно, значения фактора повышения риска RIF (формула (2)) меняются во времени в зависимости от конкретных конфигураций ЭБ АС.

Критерии значений фактора RIF для определения приемлемости изменений в уровне безопасности ЭБ АС, обуславливаемых проведением плановых ТОиР (ППР), с учётом предлагаемых способов сокращения простоев "старых" и "новых" ЭБ АС в плановых ТОиР (ППР), представлены в табл. 1.

Диапазоны значений фактора RIF , предлагаемые к использованию в табл. 1:

- учитывают, что уровень безопасности "новых" ЭБ АС в несколько раз выше, чем уровень безопасности "старых" ЭБ АС (например, для "новых" ЭБ АС вероятность (частота) повреждения ЯТ считается приемлемой на уровне $1E-5$ [6], а для "старых" ЭБ АС необходимо стремиться к обеспечению указанного уровня безопасности);

- приемлемы с точки зрения рекомендуемых в международной практике [1] критериев уровня безопасности ЭБ АС.

Таблица 1

Зависимость уровня безопасности "старых" и "новых" ЭБ АС от диапазона значений фактора RIF при проведении плановых ТОиР (ППР)

Диапазон значений фактора повышения риска		Уровень безопасности
для "старых" ЭБ АС	для "новых" ЭБ АС	
$RIF \geq \frac{1E-3}{FDF_0}$	$RIF \geq \frac{1E-4}{FDF_0}$	Неприемлемое снижение уровня безопасности
$\frac{1E-4}{FDF_0} < RIF < \frac{1E-3}{FDF_0}$	$\frac{1E-5}{FDF_0} < RIF < \frac{1E-4}{FDF_0}$	Значительное снижение уровня безопасности
$RIF \leq \frac{1E-4}{FDF_0}$	$RIF \leq \frac{1E-5}{FDF_0}$	Приемлемое снижение уровня безопасности

Для оценки изменений в уровне безопасности ЭБ АС во время проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования в имеющуюся логико-вероятностную модель ЭБ АС (логико-вероятностная модель ЭБ АС – взаимосвязанная совокупность математических моделей аварийных последовательностей, систем, элементов, действий персонала, а также баз данных с вероятностными характеристиками инициирующих событий, надежности элементов, систем, отказов общего вида, надежности персонала и другими исходными данными, необходимыми для оценки ВПБ ЭБ АС [9]) вносятся соответствующие коррективы в показатели безопасности ремонтируемого оборудования, а именно – изменяется характеристика "время" ремонтируемого оборудования ЭБ АС, которая, в свою очередь, входит в показатель безопасности данного выведенного на плановые ТОиР (ППР) оборудования.

Характерной чертой предлагаемого метода является то, что повышение КИУМ ЭБ АС предлагается осуществлять, с точки зрения соблюдения требований документа [6], при любой конфигурации ЭБ АС. Иными словами, разработанный метод основан на предположении, что если при реализации какой-либо стратегии проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС, позволяющей сокращать простои ЭБ АС в плановых ТОиР (ППР), требуемый документом [6] уровень безопасности ЭБ АС обеспечивается, то КИУМ ЭБ АС может быть повышен за счет увеличения сроков работы ЭБ АС на мощности.

Анализ результатов применения метода сокращения сроков простоев ЭБ АС в плановых ТОиР (ППР)

Если полученные результаты анализа изменений в уровне безопасности ЭБ АС при реализации предлагаемых способов сокращения простоев ЭБ АС в плановых ТОиР (ППР), показывают, что при изменении действующей стратегии проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования:

- уровень безопасности ЭБ АС снижается незначительно, то есть

$$RIF \leq \frac{1E-4}{FDF_6} \text{ для "старых" ЭБ АС и } RIF \leq \frac{1E-5}{FDF_6} \text{ для "новых" ЭБ АС (табл. 1),}$$

то можно говорить о допустимости реализации предлагаемого способа повышения КИУМ ЭБ АС;

- имеет место неприемлемое снижение уровня безопасности ЭБ АС, то есть $RIF \geq \frac{1E-3}{FDF_6}$ для "старых" ЭБ АС и $RIF \geq \frac{1E-4}{FDF_6}$ для "новых" ЭБ АС

(табл. 1), то реализация предлагаемых способов повышения КИУМ ЭБ АС недопустима, с точки зрения обеспечения безопасности ЭБ АС;

• имеет место значительное снижение уровня безопасности ЭБ АС, который в то же время не является неприемлемо низким, то есть $\frac{1E-4}{FDF_6} < RIF < \frac{1E-3}{FDF_6}$ для "старых" ЭБ АС и $\frac{1E-5}{FDF_6} < RIF < \frac{1E-4}{FDF_6}$ для "новых" ЭБ АС (табл. 1), то реализация предлагаемых изменений допустима, при условии предусмотрения компенсирующих мер, направленных на повышение уровня безопасности ЭБ АС при проведении плановых ТОиР (ППР) оборудования.

Для оценки эффективности внедрения компенсирующих мер, направленных на повышение уровня безопасности "старых" и "новых" ЭБ АС при реализации предлагаемых изменений, ориентированных, в свою очередь, на повышение КИУМ ЭБ АС за счет сокращения простоев ЭБ АС в плановых ТОиР (ППР), необходимо руководствоваться значениями фактора RIF , диапазоны которых представлены в табл. 1.

Выводы

Разработан метод повышения КИУМ ЭБ АС за счёт сокращения простоев ЭБ АС в плановых ТОиР (ППР) оборудования. Применение разработанного метода позволяет вносить обоснованные изменения в действующие стратегии проведения плановых ТОиР (ППР) оборудования ЭБ АС на основании информации об уровне безопасности ЭБ АС при любой конфигурации последнего. Отличительной чертой предлагаемого метода является то, что повышение КИУМ ЭБ АС предлагается осуществлять при условии обеспечения требуемого уровня безопасной ЭБ АС при любой конфигурации последнего.

Литература

1. *INSAG-25*. A Framework for an Integrated Risk-informed Decision-Making Process // International Atomic Energy Agency. Vienna, 2011.
2. *Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах: учебное пособие в системе образования МЧС России и РСЧС. М.: Деловой экспресс, 2004. 352 с.
3. *Антонов А.В., Ершов Г.А., Морозова О.И.* Риск-информативный подход к обеспечению безопасности энергоблоков атомных станций // Безопасность в техносфере. М., 2013. С. 14-19.
4. *Асмолов В.Г.* Опыт АЭС ОАО "Концерн Росэнергоатом". Обеспечение безопасности и повышение эффективности атомной энергетики России // 8-я междунар. науч.-техн. конф. (МНТК-2012). М., 2012.
5. *Заявление* о политике по применению вероятностного анализа безопасности и риск-информативных методов для атомных станций // Ежеквартальный научно-практический журнал Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. № 1 (63). М.: ФБУ "НТЦ ЯРБ", 2012. 122 с.
6. *Общие* положения обеспечения безопасности атомных станций. (ОПБ-88/97). НП-001-97 (Утв. постановлением Госатомнадзора России от 14 ноября 1997 г. № 9, введены с 1 июля 1998 г.).
7. *Острейковский В.А., Швыряев Ю.В.* Безопасность атомных станций // Вероятностный анализ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 352 с.
8. *Перегрузка ЯТ*. http://www.aes.bezkz.su/NuclFuel/P08_01.htm.
9. *Положение* об основных рекомендациях к разработке вероятностного анализа безопасности уровня 1 для внутренних иницирующих событий для всех режимов работы энергоблока атомной станции (РБ-024-11) (Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 9 сентября 2011 г. № 519).
10. *Сигал Е.М.* Эффективность использования установленной мощности на АЭС России и пути её повышения: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2003. 164 с.