

Ю. А. Комаров

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев***РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ**

Данная статья является представлением одноименной монографии, которая планируется к изданию. В работе рассматриваются перспективные вопросы дальнейшего развития риск-ориентированных подходов (РОП) для обоснования и реализации мероприятий по повышению безопасности и эффективности эксплуатации АЭС. В отличие от традиционного подхода под РОП подразумевается определение вероятностными и/или детерминистическими методами показателей риска как целевой функции, сущность и критерии оценки которой определяются решением конкретной задачи ядерно-энергетической отрасли. Применение РОП позволяет существенно расширить возможности обоснований и реализаций мероприятий по повышению безопасности и эффективности эксплуатации АЭС.

*Ключевые слова:* безопасность, эффективность, АЭС, вероятность, контроль, квалификация, надежность, риск, эксплуатация, оборудование.

**Введение**

Основными современными направлениями повышения безопасности действующих энергоблоков АЭС с ВВЭР является модернизация систем, важных для безопасности (СВБ), и совершенствование управления запроектными и тяжелыми авариями.

В работе в направлении повышения безопасности с применением разработанных РОП решаются актуальные и перспективные для безопасности ВВЭР вопросы необходимости (целесообразности) модернизации/замены быстродействующей редуцирующей установки сброса пара в атмосферу (БРУ-А) и элементов активной части системы аварийного охлаждения активной зоны (САОЗ), а также системы радиационного контроля межконтурных течей для совершенствования управления авариями.

Основным принципом повышения эффективности эксплуатации АЭС является удельное (на энергоблок) увеличение производства электроэнергии при сокращении эксплуатационных затрат и сохранении проектного уровня надежности и безопасности.

В работе в направлении повышения эффективности эксплуатации на основе разработанных оригинальных РОП обоснованы:

принципиальная возможность внедрения концепции ремонта по техническому состоянию, реализация которой позволит сократить длительность планово-предупредительного ремонта (ППР) энергоблоков, снизить экономические затраты на проведение ППР и наиболее оптимально (с точки зрения безопасности и эффективности эксплуатации АЭС) перераспределить трудовые затраты на плановый ремонт оборудования;

принципиальная возможность сокращения избыточно консервативного объема испытаний системы герметичного ограждения (СГО) энергоблоков с ВВЭР-1000 при сохранении необходимого уровня надежности контроля, что позволит сократить длительность ППР не менее чем на 1 сут и снизить износ СГО от испытательных нагрузок избыточным давлением 0,07 МПа;

принципиальная возможность сокращения количества дорогостоящего оборудования средств непрерывного контроля концентрации борной кислоты в средах 1-го контура, возможности замены непрерывного контроля на периодический с сохранением уровня надежности результатов контроля;

принципиальная возможность изменения стратегии обслуживания систем, СВБ при переходе с 12-месячной на 18-месячную (18-месячного интервала между началами проведения ППР) топливную кампанию.

Ниже кратко представлены основные положения и результаты по данным аспектам исследования.

**Квалификация/модернизация БРУ-А**

Необходимость проведения квалификации БРУ-А ОП ЗАЭС (серии 1115-300/350-Э и 960-300/350-Э) в водяных и пароводяных режимах, а также в «жестких» условиях определяется нормативными и эксплуатационными требованиями и положениями, рекомендациями МАГАТЭ по аттестации БРУ-А энергоблоков с ВВЭР-1000/В-320 для условий срабатывания в неквалифицированных по проекту режимах, результатами углубленного анализа безопасности энергоблоков с ВВЭР-1000/В-320.

Для доминантных групп аварий с межконтурными течами возможны режимы истечения через БРУ-А пароводяной и водяной сред, неквалифицированные по проектно-конструкторской документации и опыту эксплуатации. Отсутствие такой квалификации приводит к неопределенности показателей надежности и работоспособности БРУ-А на «закрытие после открытия» в водяных и пароводяных режимах, а соответственно к недопустимым выбросам радиоактивных продуктов в атмосферу, неуправляемому расхолаживанию и потере теплоносителя, возможности возникновения повторной критичности и т.п.

Составлена вероятностная модель (в виде дерева событий) с проведением соответствующей численной оценкой, на основании которой можно сделать следующие заключения.

1. Основными факторами, влияющими на возможность попадания пароводяной смеси в БРУ-А при давлении выше давления открытия БРУ-А, являются ошибки персонала по обеспечению давления в 1-м контуре ниже давления срабатывания БРУ-А.

2. Вероятность возникновения сценариев со срабатыванием БРУ-А на пароводяной смеси при условии реализации исходного события аварии (ИСА) «Средняя течь из 1-го контура во 2-й»  $1,274 \cdot 10^{-1}$ . Частота возникновения режимов со срабатыванием БРУ-А на пароводяной смеси  $5,098 \cdot 10^{-4}$  1/год.

При исключении возможности отказа на закрытие БРУ-А после открытия на пароводяной смеси при ИСА Т4-2 «Средняя течь из 1-го контура во 2-й» суммарная частота повреждения активной зоны (ЧПАЗ) снизится в 1,8 раза.

3. Возможность заклинивания БРУ-А на пароводяной смеси соответствует возможности перетекания проектной аварии (ИСА Т42 + ошибки персонала) в запроектную (ИСА Т42 + ошибки персонала + отказ на закрытие БРУ-А).

4. Анализ показал высокую значимость для безопасности отсутствия квалификации работы БРУ-А на пароводяной и водяной среде.

В результате проведенного технического обоснования также установлено [1, 2], что критерии квалификации БРУ-А 1115, 960 Запорожской АЭС в «жестких» условиях сейсмических воздействий 7 баллов по шкале MSK в процессе проектной аварии с межконтурной течью выполняются. Критерии квалификации БРУ-А 1115, 960 Запорожской АЭС в «жестких» условиях разрыва (течи) паропровода в помещениях А-820 в полном объеме не выполняются, так как температура рабочей среды в помещениях А-820 достигает значения  $145 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для аварии с исходным событием разрыва (течи) паропровода в помеще-

нии А-820 срабатывание клапанов аварийных БРУ-А не происходит, а возможный отказ БРУ-А на открытие или закрытие клапанов не является критичным по отношению к ликвидации последствий и управления аварией. Однако консервативно принимается необходимость мероприятий по замене/модернизации электроприводов БРУ-А, которые также по анализу опыта эксплуатации Запорожской АЭС являются наименее надежными элементами системы БРУ-А.

### Модернизация элементов активной части САОЗ

В рамках направления повышения эффективности и надежности управления авариями с течами 1-го контура реакторной установки малосерийных ВВЭР-1000/В-302, 338, для которых критичной является работоспособность САОЗ с насосами высокого давления (ВД), разработаны технические обоснования и решения о необходимости модернизации этой системы путем регулирования подачи охлаждающей воды в 1-й контур. Регулирование расхода САОЗ ВД заключается в установке запорно-регулирующих клапанов (ЗРК) для обеспечения необходимого запаса температуры теплоносителя до кипения на выходе из активной зоны за счет поддержания допустимого давления в 1-м контуре.

Разработана термогидравлическая модель работы ЗРК. В зависимости от величины течи 1-го контура возможно несколько случаев. Для относительно малых течей (например, эквивалентным диаметром 20 мм) характерен достаточно быстрый отклик давления 1-го контура на увеличение подпитки САОЗ ВД при регулировании ЗРК. Для снижения автоколебаний возможно отключение избыточных каналов САОЗ ВД (нагружение оставшегося ЗРК) или подача стабилизирующего расхода от системы подпитки продувки.

При увеличении размера течи теплоотвод через САОЗ ВД практически соответствует энерговыделению активной зоны. В этом интервале течей возможны колебания запаса с периодом 10 – 15 мин. Стабилизирующими мерами в этом случае могут служить снижение избыточности подпитки и наличие стабилизирующего постоянного расхода совместно с расхолаживанием 2-го контура. Дальнейшее увеличение диаметра течи приводит к разрыву циркуляции в 1-м контуре и реверсу теплового потока от 2-го контура к 1-му.

Дальнейшее увеличение диаметра течи потребует непрерывной подпитки САОЗ для охлаждения. Запас до насыщения (особенно для течей холодной нитки) достаточно долго будет находиться около  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . В этом случае включение ре-

гулятора ЗРК САОЗ ВД приводит к нахождению его в открытом положении без осуществления регулирования. Таким образом, для данных течей регулирование практически не происходит.

Таким образом, на основании моделей и результатов вероятностного анализа безопасности (ВАБ), а также на основании разработанной термодинамической модели работы ЗРК показано, что установка регулирующих клапанов на САОЗ ВД ВВЭР-1000/В-320 может быть эффективной только в случае дополнительных настроек по учету скорости изменения положения рабочего органа ЗРК, а также конфигурации систем, обеспечивающих охлаждение 1-го контура [3].

### Модернизация системы радиационного контроля межконтурных течей

Рассмотрена система контроля поглощенной дозы гамма-излучения для формирования сигналов срабатывания аварийной защиты и технологических защит и блокировок управляющей системы безопасности (далее - система) в авариях с межконтурными течами для реакторной установки с ВВЭР-1000. Проанализировано внедрение системы на ЧПАЗ.

Установлено, что внедрение системы можно отнести к области средней приоритетности для безопасности только в случае реализации полностью автоматизированного алгоритма управления авариями со средними межконтурными течами при условии вероятности отказа системы как минимум в два раза ниже, чем вероятность ошибки персонала по обеспечению необходимых функций безопасности для аварий средней течи 1-го контура во 2-й (исходное событие аварии в терминах ВАБ, обозначаемое как Т42) [4].

### Методические основы внедрения концепции ремонта по техническому состоянию

В настоящее время на АЭС Украины проведение планового ремонта и технического обслуживания (ТОиР) оборудования определяется проектно-конструктивными и нормативными документами, а также требованиями заводоизготовителей. В связи с этим плановые работы по ТОиР зачастую выполняются чаще, чем это необходимо, исходя из его реального технического состояния. В то же время нормативно закреплена возможность применения ТОиР по техническому состоянию после уточнения фактических характеристик надежности систем и оборудования и при наличии необходимого диагностического обеспечения и соответствующей технической документации.

Общая концепция планирования ремонтов в

условии применения ремонта по техническому состоянию (РТС) состоит в следующем: оборудование необходимо ремонтировать тогда, когда определяющие параметры его технического состояния близки к предельно-допустимым значениям. При этом следует учитывать возможную неопределенность (погрешность) анализа. Поэтому чем значительнее оборудование влияет на безопасность и эффективность эксплуатации энергоблока, тем с большим запасом по времени (заранее) должен назначаться плановый ремонт оборудования [5 - 7].

Ремонт оборудования по факту приближения какого-либо определяющего параметра технического состояния к предельно-допустимому значению (с учетом запаса, величина которого определяется гамма-процентным запасом  $\gamma$ ) будет проводиться через интервал времени  $T_{рем}$  от последней оценки технического состояния оборудования:  $T_{рем} = \min_i \{ t_{\gamma_i} - t_{0i} \}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , где  $t_{\gamma_i}$  – гамма-процентная наработка до отказа по  $i$ -му определяющему параметру технического состояния;  $t_{0i}$  – момент проведения последней оценки технического состояния оборудования с определением значений по  $i$ -му определяющему параметру технического состояния.

Величина гамма-процентного запаса ( $\gamma$ ) определяется на основании диаграммы ранжирования оборудования. Чем значительнее оборудование влияет на безопасность и эффективность выработки электроэнергии, тем большим является значение  $\gamma$ . Для оборудования низкого уровня значимости допустимо планирование по средней наработке до отказа ( $t_{\gamma} = t_{срi}$ ).

Оценка влияния каждого оборудования на безопасность выполняется в соответствии с классом безопасности и по показателю значимости по Бирнбауму [14, 15] (ДЧПАЗ) на основании моделей и результатов ВАБ.

Оценка влияния каждого оборудования на эффективность выработки электроэнергии выполняется по показателям: недовыработки электроэнергии на один внеплановый ремонт оборудования средней длительности; коэффициенту запаса времени на проведение аварийного ремонта.

Внедрение стратегии перехода на РТС позволит:

сократить недостаточно обоснованные по опыту эксплуатации и неэффективные плановые организационно-технические мероприятия по ремонту, техническому обслуживанию и после-ремонтных испытаний;

оптимизировать графики ППР при неснижении или повышении показателей надежности и безопасности энергоблоков путем сокращения

большого объема ремонтных мероприятий;  
 эффективнее реализовать мероприятия по управлению старением оборудования;  
 расширить и внедрить риск-ориентированные подходы в регулируемую и эксплуатационную деятельность;  
 активизировать процесс широкого внедрения и развития систем диагностики и эксплуатационного контроля.

### **Сокращение избыточно консервативного объема испытаний системы герметичного ограждения**

Нормативными документами, действующими технологическими регламентами безопасной эксплуатации (ТРБЭ) энергоблоков с ВВЭР-1000 установлено, что испытания на герметичность СГО гермооболочки реакторных установок с ВВЭР-1000 пониженным избыточным давлением 0,07 МПа должны проводиться ежегодно.

Анализ отечественного опыта проведения испытаний на герметичность СГО энергоблоков с ВВЭР-1000 показал, что основные дефекты, влияющие на надежность СГО, выявляются на этапах испытания на герметичность вакуумированием и локальных испытаний на герметичность; частые испытания избыточным давлением 0,07 МПа приводят к снижению надежности и герметичности СГО (вследствие воздействия избыточных циклических нагрузжений внутренним давлением); работы по испытаниям на герметичность СГО избыточным давлением 0,07 МПа всегда лежат на критическом пути плановых ремонтов энергоблоков и в зависимости от погодных факторов в районе АЭС делятся от 1 до 2,5 сут. При этом этап испытаний на герметичность вакуумированием занимает около 3 ч, остальное время занимает этап испытаний избыточным давлением.

В связи с этим была разработана методика и соответствующий стандарт предприятия (СТП) НАЭК «Энергоатом» (СТП вступил в силу в 2005 г.), в которой представлен подход по сокращенному проведению испытаний СГО. Сокращенные испытания состоят из испытаний на герметичность полного объема СГО только вакуумированием (разрежением на 1,5 кПа) с исключением этапа испытаний пониженным избыточным давлением (0,07 МПа) [8, 9].

Сокращение одного испытания на герметичность СГО является допустимым при совместном выполнении следующих условий:

значение консервативной экстраполированной оценки утечки на два последующих периода испытаний (на два года вперед, если испытания проводятся ежегодно) не должно превышать

эксплуатационный критерий герметичности (ЭКГ) более чем на 15 %;

нет необходимости в проведении испытаний всего объема СГО после устранения дефектов отдельных элементов СГО;

выполнение во время проводимых ППР полного объема регламентированных работ по поддержанию элементов СГО в работоспособном состоянии (техническое обслуживание, локальные испытания, осмотры и т.д.);

возможность проведения локальных испытаний на герметичность заменяемых и/или ремонтируемых элементов СГО;

в течение двух последних ППР не проводилось ремонта герметизирующей стальной облицовки СГО с применением сварки и в очередной ППР такие работы не планируются.

Консервативная экстраполированная оценка значения утечки на два года вперед учитывает влияние имевших место критических дефектов, тенденцию изменения финальной величины утечки, максимальное значение утечки в серии испытаний после установления ЭКГ.

Работы по испытанию СГО проводятся ежегодно в завершение ППР и всегда лежат на критическом пути графика ремонта энергоблока. Внедрение данной методики позволит сократить длительность ППР на 1 - 2,5 сут и, таким образом, повысить коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) энергоблока.

### **Обоснование возможности сокращения НАР-Б**

Для каждого блока АЭС с ВВЭР проектом предусмотрены различные системы контроля и управления. Одной из них является система контроля концентрации раствора борной кислоты в теплоносителе 1-го контура. При контроле концентрации борного раствора используются два способа: непрерывный, с помощью датчиков НАР-Б (анализатор раствора нейтронный базовый), и периодический, путем отбора проб с последующим анализом в химлаборатории (лабораторный химический контроль - ЛХК). Причем оба способа контроля концентрации применяются для одной и той же точки контроля. Контроль концентрации проводится в таких точках как баки САОЗ, система отбора проб из реактора, система подпитки-продувки 1-го контура и т.д.

Разработан метод вероятностной оценки достоверности измерений концентрации борной кислоты, на основании которого возможно проводить варьирование количества НАР-Б с установлением новой периодичности ЛХК [10, 11].

Сокращение числа НАР-Б является обосно-

ванным только в том случае, если после снятия позиции НАР-Б с точки контроля достоверность информации об уровне концентрации борной кислоты в данной точке не снижается.

Методика анализа возможности сокращения количества НАР-Б основана на вероятностной интерпретации степени достоверности показаний различных систем контроля (систем, которые содержат НАР-Б и химический анализ проб либо исключительно химический анализ проб). Устранение позиции НАР-Б в точке контроля возможно в случае, если выполняется условие  $P(T) \geq R_c(T_{pez})$ , где  $P$  – вероятность совпадения концентрации  $H_3BO_3$  с результатами измерений, проведенными исключительно с помощью химического анализа проб (периодический контроль);  $T$  – варьируемая периодичность пробоотбора;  $R_c$  – вероятность совпадения концентрации  $H_3BO_3$  с результатами измерений, проведенными как с помощью НАР-Б, так и с помощью химического анализа проб;  $T_{pez}$  – регламентная периодичность пробоотбора.

В результате для реакторной установки с ВВЭР-1000 (В-302, В-338, В-320) установлен перечень позиций непрерывного контроля концентрации борной кислоты с помощью НАР-Б, которые могут быть устранены при условии более частого проведения периодического ЛХК.

#### **Обоснование новой стратегии ТОиР при переходе с 12-месячной на 18-месячную топливную кампанию**

По требованиям нормативной документации оборудование СВБ необходимо испытывать ежегодно. Существующий на АЭС график испытаний предусматривает проведение этих испытаний каждый ППР – нормативные требования выполняются. При увеличении длительности между ППР энергоблока (в условиях увеличения топливной кампании) и сохранения существующего графика испытаний (каждый ППР) нормативные требования будут нарушены.

Разработана методика, основу которой составляет математическая модель изменения с течением времени (несколько лет) вероятности отказа оборудования СВБ, с учетом имеющихся (и возможных дополнительных) испытаний и имеющейся (и измененной) периодичности плановых ревизии/ремонтов. При изменении длительности топливной кампании необходимо принять новую периодичность испытаний/ревизий оборудования СВБ [12].

Критерием приемлемости новой периодичности/номенклатуры испытаний/ремонтов оборудования СВБ является не превышение вероятности отказа каждой отдельной единицы оборудования СВБ для новой стратегии испытаний/ремонтов  $P_{изм}$  вероятности отказа оборудования для старой стратегии испытаний/ревизий  $P_б$  (или его нормативного значения), т.е. должно быть выполнено условие  $P_{изм} \leq P_б$ .

Удлинение промежутка между ППР приводит к росту вероятности отказа оборудования СВБ. В качестве компенсирующих мероприятий (обеспечивающих соблюдение условия  $P_{изм} \leq P_б$ ) необходимо: проводить дополнительные испытания оборудования СВБ во время текущего ремонта энергоблока, изменить периодичность проведения капитальных ремонтов (ревизий) оборудования СВБ.

Результатом обоснования является перечень приемлемых стратегий испытаний/ремонтов (ревизий) по каждой группе оборудования СВБ в условиях увеличения длительности топливной кампании (увеличения длительности интервала между ППР). Перечень приемлемых стратегий испытаний/ревизий оборудования СВБ включает список необходимых дополнительных испытаний во время текущего ремонта энергоблока и периодичность проведения капитальных ремонтов (ревизий) оборудования СВБ.

#### **Заключение**

Анализ известных РОП (например, [13 - 15]), опыта применения РОП в оценках безопасности и в эксплуатационной и регулирующей деятельности (например, [16, 17]), а также традиционной методологии и терминологии РОП позволили установить, что в настоящее время существует научная проблема, связанная с недостаточным развитием РОП в направлении повышения безопасности АЭС, в направлении совершенствования моделей «эффективность – безопасность – надежность» и для оптимизации различных эксплуатационных процедур АЭС.

Разработаны научно-технические подходы развития РОП, которые позволили провести обоснование и реализацию серии актуальных мероприятий по повышению безопасности и эффективности эксплуатации АЭС, разработана и внедрена серия соответствующих документов, таких как нормативная документация, технические решения и стандарты предприятия НАЭК «Энергоатом» (например, [18 - 20]).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Скалозубов В.И., Шавлаков А.В., Комаров Ю.А.* Теоретические основы распространения экспериментальной квалификации БРУ-А в пароводяных режимах на натурные условия ВВЭР-1000/В-320 // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2009. - Вип. 12. - С. 86 - 92.
2. *Комаров Ю.А., Кочнева В.Ю., Скалозубов В.И., и др.* Вероятностные оценки влияния на безопасность квалификации БРУ-А ВВЭР 1000/В-320 при двухфазных режимах и в «жестких» условиях // Там же. - 2010. - Вип. 13. - С. 38 - 47.
3. *Скалозубов В.И., Комаров Ю.А., Богодист В.В. и др.* Анализ эффективности регулирования системы аварийного охлаждения активной зоны насосами высокого давления на АЭС с ВВЭР-1000/В320 // Ядерная и радиационная безопасность. - 2010. - № 2 (46). - С. 27 - 31.
4. *Комаров Ю.А., Скалозубов В.И.* Анализ приоритетности внедрения модернизаций и мероприятий по повышению безопасности АЭС риск-ориентированными методами // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2011. - Вип.16. - С. 53 - 60.
5. *Комаров Ю.А., Скалозубов В.И.* Методические основы перехода на ремонт по техническому состоянию оборудования АЭС // Сб. науч. тр. - Севастополь: СНИЯЭиП, 2009. - Вип. 4(32). - С. 26 - 39.
6. *Комаров Ю.А.* Методология проведения ремонта по техническому состоянию оборудования АЭС // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2010. - Вип.13. - С. 48-59.
7. *Комаров Ю.А., Кочнева В.Ю.* Оценки длительности до проведения планового технического обслуживания и ремонта при применении концепции ремонта по техническому состоянию оборудования АЭС // Там же. - 2011. - Вип. 17. - С. 27 - 39.
8. *Комаров Ю.А., Пышный В.М., Скалозубов В.И. и др.* Разработка отраслевого стандарта по сокращению периодичности комплексных испытаний на герметичность системы гермооболочки ВВЭР на основе вероятностных методов // Ядерная и радиационная безопасность. - 2004. - Т. 7, вып. 2. - С. 73 - 79.
9. *Комаров Ю.А., Фольтов И.М.* Разработка технических решений по оптимизации периодичности испытаний на герметичность гермооболочки в период ремонта энергоблоков АЭС с ВВЭР-1000 // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. "Перспективы развития технологии, организации ремонта и подготовки ремонтного персонала АЭС" 13 - 17 сент. 2008 г. Одесса, Украина. - Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2008. - С. 58 - 64.
10. *Билей Д.В., Соловьев В.Г., Комаров Ю.А. и др.* Математическая модель оптимизации системы контроля концентрации борного раствора теплоносителя реакторных установок // Вест. Харьк. нац. унта. Сер. физ. «Ядра, частицы, поля». - 2003. - № 601. - Вып. 2 (22). - С. 123 - 128.
11. *Комаров Ю.А.* Использование риск-ориентированного подхода для обоснования изменений в системе контроля концентрации борной кислоты в растворах атомных станций с реакторами на тепловых нейтронах // Сб. науч. тр. - Севастополь: СНИЯЭиП, 2005. - Вип. 15. - С. 102 - 112.
12. *Комаров Ю.А., Пионтковский А.И., Габлая Т.В.* Оптимизации периодичности и объемов испытаний теплотехнического оборудования СВБ, имеющих функциональные испытания только в процессе ППР // Сб. науч. тр. - Севастополь: СНИЯЭиП, 2007. - Вип. 4(24). - С. 56 - 66.
13. *SECY-98-144.* White Paper on Risk-Informed and Performance-Based Regulation. Staff Requirements. - US NRC, March 1999.
14. *Острейковский В.А., Швыряев Ю.В.* Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. - М.: Физматлит, 2008. - 352 с.
15. *Вероятностный анализ безопасности атомных станции (ВАБ): Учебн. пособ. / В. В. Бегун, О. В. Горбунов, И. Н. Каденко и др. - К., 2000. - 568 с.*
16. *Программа внедрения риск-ориентированных подходов в регулирующей деятельности и эксплуатации АЭС Украины / НАЭК «Энергоатом», Госатомрегулирования Украины. - К., 2006.*
17. *Громов Г.В., Дыбач А.М., Севбо А.Е. и др.* Применение риск-информированных подходов в инспекционной деятельности // Ядерная и радиационная безопасность. - 2010. - № 3 (47). - С. 9 - 15.
18. *ГНД 95.1.01.03.058-2005* «Программа повышения уровня безопасности и обеспечения радиационной защиты на АЭС с реакторами типа ВВЭР. Общие требования» (введен в действие приказом Минтопэнерго Украины № 77-ремонт от 04.02.2005 г.)
19. *СТП 0.05.054-2005* «Система технического обслуживания и ремонта атомных электростанций. Методика обоснования сокращения испытаний на герметичность системы герметичного ограждения действующих энергоблоков с ВВЭР-1000 (В-320)» (введен в действие распоряжением ГП НАЭК «Энергоатом» № 681-р от 10.08.2005 г.)
20. *СТП 0.05.052-2004* «Система технического обслуживания и ремонта атомных электростанций. Типовые сетевые графики ремонта реактора и его вспомогательного оборудования энергоблоков с ВВЭР-1000 (В-320)» (введен в действие распоряжением ГП НАЭК «Энергоатом» № 979-р от 30.12.2004 г.)

**Ю. О. Комаров**

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЕЯКИХ ПИТАНЬ БЕЗПЕКИ  
ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АЕС РИЗИК-ОРІЄТОВАНИМИ МЕТОДАМИ**

Дана стаття є поданням однойменної монографії, яка планується до видання. У роботі розглядаються перспективні питання подальшого розвитку ризик-орієнтованих підходів (РОП) для обґрунтування та реалізації заходів із підвищення безпеки та ефективності експлуатації АЕС. На відміну від традиційного підходу під РОП мається на увазі визначення ймовірнісними і/або детермінованими методами показників ризику як цільової функції, сутність і критерії оцінки якої визначаються рішенням конкретної задачі в ядерно-енергетичній галузі. Застосування РОП дає змогу істотно розширити можливості обґрунтувань та впровадження заходів із підвищення безпеки та ефективності експлуатації АЕС.

*Ключові слова:* безпека, ефективність, АЕС, імовірність, контроль, кваліфікація, надійність, ризик, експлуатація, обладнання.

**Yu. A. Komarov**

**SOME RESEARCH RESULTS BY RISK-INFORM APPROACHES  
FOR NPP SAFETY AND OPERATIONAL EFFICIENCY**

Article is the presentation of the same name monograph, which is planned to be issued. In the article the perspective problems of further development risk-oriented approach (ROA) for the grounding and realization of measures on increase of safety and operational efficiency of NPP are considered. Unlike the traditional approach for the ROA, mean due the definition of probabilistic and/or deterministic methods of risk parameters, as criterion functions essence and the measure of the estimation are defined by the solution of specific problem in nuclear field. The ROA application allows essentially expanding opportunities of the substantiations and realizations of measures on safety and operational efficiency increase of NPP.

*Keywords:* safety, efficacy, NPP, probability, testing, qualification, reliability, risk, operation, equipment.

Надійшла 17.07.2013

Received 17.07.2013