

В. И. Скалозубов¹, Ю. А. Комаров¹,
Н. Н. Шендрик²

¹Институт проблем безопасности атомных электростанций
Национальной академии наук Украины,
г. Чернобыль, Украина

²Обособленное подразделение НАЭК «Энергоатом»
«Южно-Украинская АЭС», г. Южноукраинск,
Николаевская обл., Украина

Методические аспекты ремонта по техническому состоянию оборудования АЭС Украины

Кратко представлено положение дел с применением ремонта по техническому состоянию (РТС) оборудования АЭС в мире и в частности в Украине. Описан подход к РТС, реализованный на Южно-Украинской АЭС, которая добилась значительных успехов в его практической реализации (функциональный анализ системы с выделением критичного и некритичного оборудования, оценка межремонтного периода для критичного оборудования и оценка периодичности контроля для некритичного оборудования). Приведены методы оценки периодичности ремонта и контроля на основании теории нечетких множеств и экспертных систем. Показаны существующие методические проблемы. Даны предложения по совершенствованию процедуры РТС для АЭС Украины, основанные на физико-статистических методах наработки до отказа и более точном методе обработки нечетких множеств.

Ключевые слова: безопасность, эффективность, АЭС, вероятность, ремонт.

В. И. Скалозубов, Ю. А. Комаров, М. М. Шендрик

Методичні аспекти ремонту за технічним станом обладнання АЕС України

Коротко наведено стан справ щодо застосування ремонту за технічним станом (РТС) обладнання АЕС у світі та зокрема в Україні. Описано підхід до РТС, реалізований на Южно-Українській АЕС, яка досягла значних успіхів у його практичній реалізації (функціональний аналіз системи з виділенням критичного й некритичного обладнання, оцінка міжремонтного періоду для критичного обладнання й оцінка періодичності контролю для некритичного обладнання). Наведено методи оцінки періодичності ремонту та контролю на підставі теорії нечітких множин і експертних систем. Розглянуто наявні методичні проблеми. Надано практичні рекомендації щодо вдосконалення процедури РТС для АЕС України, що спираються на фізико-статистичні методи напрацювання до відмови і більш точний метод обробки нечітких множин.

Ключові слова: безпека, ефективність, АЕС, імовірність, ремонт.

© В. И. Скалозубов, Ю. А. Комаров, Н. Н. Шендрик, 2014

Наиболее полная методическая база внедрения ремонта по техническому состоянию (РТС) оборудования АЭС представлена в рекомендациях МАГАТЭ [1], где РТС назван Reliability Centred Maintenance — ремонтом, ориентированным на надежность (РОН). Описание РОН включает описание систематического подхода к выполнению, изменению и ценовому эффекту от внедрения РОН для оборудования АЭС. Концепция РОН, возникнув в секторе гражданской авиации, существует более 25 лет. Отмечено, что эффективное использование РОН может способствовать повышению безопасности и надежности энергоблока и оборудования, а также оптимизации действий по управлению оборудованием и процедур технического обслуживания и ремонта (ТОиР). РОН не является процессом, результаты которого проявляются на коротком промежутке времени, — срок его окупаемости может составить от 5 до 10 лет. Процесс РОН основывается на функциях энергоблока и оборудования, последствиях отказа и мерах по предотвращению или уменьшению отказов в выполнении назначенных функций.

В рекомендациях [1] также сказано, что в комбинации с детерминированными подходами для оптимизации программ ТОиР может быть использован вероятностный анализ безопасности (ВАБ) по следующим направлениям:

категоризация систем и (или) компонентов с точки зрения влияния на безопасность;

анализ ТОиР и альтернативных стратегий ТОиР на основании идентификации критичности компонентов систем;

оценка воздействия предлагаемых изменений в ТОиР на риск АЭС.

В частности модель ВАБ обеспечивает входную информацию для риск-ориентированного процесса отбора и категоризации систем в соответствии со значимостью для безопасности [2].

В Украине развитие и внедрение концепции РТС в настоящее время находятся на стадии обоснования в регулирующей и эксплуатационной деятельности. Последняя редакция нормативного документа [3] определяет возможность перехода на РТС «...после уточнения фактических характеристик надежности систем и оборудования при наличии необходимого диагностического обеспечения и технической документации».

План мероприятий Национальной атомной энергогенерирующей компании (НАЭК) «Энергоатом» на 2013—2016 годы по переводу оборудования 4- и 3-го классов безопасности (согласно [4]) на ремонт по техническому состоянию включает следующие тематические разделы:

1. Подготовка нормативно-технической базы для перевода оборудования АЭС на РТС.
2. Разработка методик оценки технического состояния оборудования АЭС.
3. Обеспечение диагностическим оборудованием.
4. Организация перевода оборудования АЭС на РТС.

До принятия данного плана мероприятий работы в направлении РТС велись различными АЭС Украины (при содействии и сотрудничестве с научными организациями Украины и зарубежья) независимо друг от друга, без централизованного управления и координации процессом.

Отметим, что основной проблемой объективной оценки состояния оборудования, без чего невозможен переход на РТС (в частности оборудования 2- и 3-го классов безопасности), является отсутствие современных методов оценки технического состояния и апробированных методик контроля оборудования АЭС.

Значительных результатов в продвижении РТС достигла Южно-Украинская АЭС (ЮУАЭС): разработаны ряд методик и расчетная программа, обеспечивающие планирование РТС оборудования 4-го класса безопасности [5—8]; в 2004 году начата опытно-промышленная эксплуатация данного подхода на оборудовании нескольких технологических систем всех трёх энергоблоков ЮУАЭС.

Ниже представлены основные подходы, применяемые при реализации РТС оборудования ЮУАЭС, и намечены пути их совершенствования.

Методика реализации РТС. Подход, реализованный на ЮУАЭС, заключается в следующем:

1) проводится функциональный анализ технологической системы с выделением критичного и некритичного оборудования (на основании специальных критериев);

2) для критичного оборудования оцениваются периоды безотказной работы и устанавливается межремонтный период;

3) для некритичного оборудования ремонт не планируется, а оценивается и устанавливается периодичность контроля технического состояния.

Функциональный анализ основывается на определении степени тяжести последствий отказов функциональных групп (ФГ) оборудования и включает следующие этапы:

идентификацию системы (наименование, назначение, состав, структура, принцип работы, режимы и условия);

определение функций системы;

формирование ФГ;

определение возможных видов отказов ФГ;

определение последствий отказов для функции системы;

определение последствий отказов для энергоблока;

определение степени тяжести последствий отказов ФГ.

В результате проведения идентификации составляется перечень функций системы. Функции системы подразделяются на основные (целевые) и вспомогательные. ФГ формируются из однотипного оборудования, связанного выполнением определённой функции. Для систематизации результатов анализа в ходе формирования ФГ заполняется матрица соотношений «функция — функциональная группа».

Каждая ФГ рассматривается как на предмет возможных видов отказов входящего оборудования (например, наружная протечка, внутренняя протечка, потеря электрических характеристик, потеря гидравлических характеристик, потеря тепловых характеристик, незапуск, потери производительности, несвоевременное открытие, несвоевременное закрытие), так и на предмет возможных последствий отказов (без последствий или с нарушением функции). Тот возможный вид отказа, который не приводит к последствиям, в дальнейшем не рассматривается. Если же возможный вид отказа приводит к ухудшению или нарушению функции, изучается его влияние на состояние энергоблока. Последствия влияния на состояние энергоблока ранжируются следующим образом:

тяжёлые — пожар, взрыв, ядерная и радиационная авария;

средние — повреждение оборудования и останов энергоблока;

лёгкие — снижение, ограничение мощности энергоблока (и без последствий).

Уровень детализации при проведении анализа углубляется до конкретной единицы оборудования: насос, арматура, бак, теплообменник и т. д. При этом устанавливается влияние отказа конкретной единицы оборудования

на работу ФГ (например, отказ оборудования или уменьшает резерв ФГ, или частично либо полностью отключает ФГ).

Окончательно критичность каждого конкретного оборудования определяется степенью тяжести последствий возможного отказа и потенциальной частотой реализации такого отказа (табл. 1).

Таблица 1. Соотношения «степень тяжести отказов — потенциальная частота отказов» для установления критичности единицы оборудования*

Последствия для энергоблока	Потенциальная частота отказов, лет			
	менее 5	от 5 до 10	от 10 до 20	более 20
Тяжёлые	К	К	К	К
Средние	К	К	К	НК
Лёгкие	К	НК	НК	НК
Не влияют	НК	НК	НК	НК

* К — оборудование критично, НК — оборудование некритично.

Под потенциальной частотой отказов подразумевается частота возможных видов отказов узла, приводящего к этим отказам, если его не подвергать планомерно-предупредительным процедурам, частично или полностью восстанавливающим технические характеристики. Потенциальная частота отказов устанавливается экспертом на основе опыта.

Отказ может быть скрытым или явным. Скрытый отказ обнаруживается только при разборке оборудования и может привести к более тяжёлым последствиям, чем явный отказ, который обнаруживается при обходе или другими средствами обнаружения. Скрытый отказ учитывается уменьшением периодичности потенциальной частоты отказа с коэффициентом 0,9; если отказ явный, периодичность не меняется.

Сам факт наличия отказов также учитывается уменьшением потенциальной частоты отказа. При этом если подобные отказы реализовывались, частота уменьшается с коэффициентом 0,95; если подобные отказы были частыми, используется коэффициент 0,9; если отказов не было, частота не меняется.

Установление длительности межремонтного периода (для критичного оборудования) и периодичности контроля технического состояния (для некритичного оборудования) начинается с процедуры установления вида контроля технического состояния оборудования, которая включает в себя следующие этапы:

идентификацию оборудования;

определение функций оборудования (основные и вспомогательные);

определение возможных видов отказов оборудования;

определение причин отказов оборудования (например, блокировка, засорение, коррозия, короткое замыкание, дефект подключения, дефект изоляции, деформация, отсоединение, чрезмерный зазор, растрескивание);

определение узлов оборудования, являющихся причинами отказов (исходя из логической связи «вид отказа — причина — узел оборудования»);

определение видов контроля узлов оборудования, являющихся причинами отказов (например, внешний осмотр, контроль металла, виброобследование, контроль параметров, замер сопротивления изоляции).

Каждый узел оборудования может быть подвержен как одному виду отказа, так и нескольким (например, подшипник насоса может быть причиной таких видов отказов, как вибрация и повышенная температура).

В каждой группе узлов с одинаковыми видами контроля технического состояния определяется самый слабый узел, по которому будет определяться периодичность этого вида контроля для единицы оборудования.

Потенциальная частота отказов, длительность межремонтного периода (для критичного оборудования) и периодичность контроля технического состояния (для некритичного оборудования) устанавливаются на основе теории нечетких множеств [9].

Модель нечеткого множества S_L задается парой переменных: нечеткой переменной L , заданной в некоторой области определения X , и ее функцией принадлежности μ_L :

$$S_L = \{(x, \mu_L(x); x \in X, 0 \leq \mu_L(x) \leq 1)\}. \quad (1)$$

Использование теории нечетких множеств позволяет проводить оценки на основании экспертных оценок (мнений экспертов), при этом оцениваемые величины не опираются на теорию случайности (а значит, не требуют статистической повторяемости), что дает возможность, в частности, анализировать редкие, в том числе ранее не реализовавшиеся, события.

Одним из наиболее известных методов оценки функции принадлежности μ_L нечеткого множества является косвенный метод — метод парных сравнений, предложенный Т. Л. Саати [10]. Именно данный метод реализован для оценки частоты отказов, длительности межремонтного периода и периодичности контроля технического состояния оборудования ЮУАЭС.

Пусть E_1, E_2, \dots, E_n — множество из n элементов (альтернатив), которые формируют заголовки строк и столбцов матрицы M ; v_1, v_2, \dots, v_m — ранг относительной важности (превосходства одной альтернативы над другой). Заполнение квадратных матриц парных сравнений осуществляется по следующему правилу. Если элемент E_1 доминирует над элементом E_2 , то клетка матрицы, соответствующая строке E_1 и столбцу E_2 , заполняется целым числом (из множества значений v_i , например $a_{12} = v_1$), а клетка, соответствующая строке E_2 и столбцу E_1 , заполняется обратным к нему числом. Если элемент E_2 доминирует над E_1 , то целое число ставится в клетку, соответствующую строке E_2 и столбцу E_1 , а дробь проставляется в клетку, соответствующую строке E_1 и столбцу E_2 . Если элементы E_1 и E_2 равнопредпочтительны, то в обе позиции матрицы ставятся единицы.

Таким образом, эксперт формирует матрицу M , диагональные элементы которой равны 1, а для элементов, симметричных относительно диагонали, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, т. е. если один объект в α раз предпочтительней другого, то второй объект оценивается в $1/\alpha$ раз предпочтительней первого. В этом случае

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \omega_j = n \omega_i, \quad (2)$$

где n — наибольшее собственное значение матрицы M .

Оценка функции принадлежности — вектор $\bar{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$, удовлетворяющий уравнению вида

$M\bar{\omega} = \lambda\bar{\omega}$, где λ — наибольшее собственное значение матрицы M . Чем ближе λ к значению n , тем более верен результат. Отклонение λ от n используется как мера правильности результата: $\varepsilon = (\lambda - n)/n$. При $\varepsilon = 0$ имеем полную транзитивность суждений. Чем больше ε , тем больше не-транзитивность суждений эксперта.

Приближенный метод нахождения собственного вектора, соответствующего максимальному собственному числу матрицы парных сравнений, реализован в процедуре РТС ЮУАЭС и состоит в следующем. Вычисляется построчное произведение элементов матрицы M , из которого извлекается корень n -й степени. Полученный вектор $\Phi = (\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n)$ используется для нахождения функции принадлежности μ_L :

$$\mu_F = \left(\frac{\Phi_1}{\Phi_S}, \frac{\Phi_2}{\Phi_S}, \dots, \frac{\Phi_n}{\Phi_S} \right), \quad \Phi_S = \sum_{i=1}^n \Phi_i. \quad (3)$$

Далее используется метод максимума, в соответствии с которым наиболее предпочтительным элементом нечеткого множества будет тот, который соответствует максимальному значению функции принадлежности μ_L .

Например, приблизительная периодичность контроля определена экспертом равной 3 годам; соответственно, альтернативные периодичности должны составлять 1 и 2 года с одной от примерной периодичности стороны временной шкалы и 4 и 5 лет — с другой стороны. Эксперт, попарно сравнивая альтернативы, заполняет таблицу парных сравнений, пользуясь шкалой относительной важности. Если при сравнении первого альтернативного периода со вторым получена важность 3, то при сравнении второго альтернативного периода с первым получим обратную величину (т. е. 1/3).

В качестве экспертов привлекается эксплуатационный и ремонтный персонал, имеющий склонность к анализу и стаж работы с рассматриваемым оборудованием не менее 10 лет.

Дальнейшие пути развития методической базы РТС. Экспертные оценки с использованием теории нечетких множеств субъективны, поскольку значительно зависят от квалификации эксперта. В качестве дополнительной (или) альтернативной оценки длительности до планового ремонта либо контроля можно предложить прогнозную оценку определяющих параметров технического состояния (ОПТС), выраженных численными значениями (степень вибрации, значение протечек, утонение металла и т. п.). В этом случае ремонт будет запланирован на дату, оцененную по интервалу времени

$$T = \min_i \{T_{\gamma i} - T_0\}, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (4)$$

где $T_{\gamma i}$ — гамма-процентная наработка до отказа по i -му ОПТС; T_0 — момент проведения планирования.

В зависимости от уровня влияния оборудования на безопасность и эффективность эксплуатации АЭС устанавливается значение гамма-процентного запаса гамма-процентной наработки до отказа, по которой планируется очередной ТОиР оборудования. Таким образом, чем больше оборудование влияет на безопасность и эффективность эксплуатации энергоблока, тем с большим запасом по времени (заранее) будет назначаться плановый ремонт (контроль) оборудования.

Для оценки наработки до отказа на основе физических процессов деградации оборудования АЭС наиболее подходит модель с немонотонными реализациями, описываемая дифференциально-немонотонным распределением (DN-распределением) [11], согласно которой средняя и гамма-процентная наработка до отказа составят

$$T_{cp} = \mu = \frac{x_{np} - x_0}{a}, \quad T_\gamma = \mu X_\gamma = X_\gamma \frac{x_{np} - x_0}{a}, \quad (5)$$

где μ — параметр масштаба DN-распределения; x_{np} — граничное значение ОПТС, при достижении которого требуется вывод оборудования в ремонт; x_0 — начальное значение ОПТС; a — средняя скорость изменения ОПТС; X_γ — коэффициент, определяемый из уравнения $F_{DN}(X_\gamma, \mu = 1, \nu) = 1 - \gamma/100$, в котором $F_{DN}(X_\gamma, \mu = 1, \nu)$ — функция DN-распределения (вероятность отказа); ν — параметр формы DN-распределения, равен коэффициенту вариации скорости изменения определяющего параметра и определяется по коэффициенту вариации основного процесса деградации [12, прил. В]; γ — регламентированное значение вероятности (степень запаса) гамма-процентной наработки до отказа в процентах.

Значение γ для оборудования, имеющего высокое влияние на безопасность и эффективность эксплуатации, принимается равным 95 %. Для оборудования с низким влиянием планирование ремонта (контроля) возможно по средней наработке до отказа T_{cp} . Оценка γ для оборудования, имеющего средний уровень влияния на безопасность и эффективность эксплуатации, проводится по степени значимости по Бирнбауму (используя результаты ВАБ) и с учетом класса безопасности оборудования энергоблока АЭС [13].

Если имеются численные значения ОПТС и небольшое количество отказов, т. е. недостаточное для оценки показателей надежности только на основании зафиксированных отказов элементов и (или) оборудования, целесообразно совместное использование статистических и вероятностно-физических моделей. Совмещение нескольких моделей оценки параметров (по отказам, по изменению ОПТС, экспертные оценки) возможно при использовании байесовского метода с дискретизацией априорного распределения [11].

Если же ОПТС не могут быть выражены через численные значения в условиях отсутствия (недостаточности) данных по отказам, оценку можно проводить исключительно на основании опыта, знаний, квалификации обслуживающего персонала АЭС — так, как это реализовано на ЮУАЭС. Для уточнения представленного выше подхода предлагается использовать аналитические оценки нескольких экспертов с дальнейшим их анализом на предмет минимизации нетранзитивности, а в качестве метода дефаззификации (при определении наиболее предпочтительного элемента нечеткого множества) использовать не метод максимума, а метод центроида (центра тяжести), который более точен. Дефаззификация нечеткого множества по методу центроида осуществляется по формуле

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_F(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_F}, \quad (6)$$

где x_i — множество экспертно установленных приближенных значений показателей; μ_F — функция принадлежности, оцененная по (3).

Выводы

Существующие методики (в том числе рекомендованные МАГАТЭ) и отечественная нормативная база позволяют заложить основу для внедрения РТС на энергоблоках АЭС Украины, однако основной проблемой перехода на РТС является отсутствие современных методов оценки технического состояния и апробированных методик контроля оборудования АЭС.

Следует отметить, что использование ВАБ для задач РТС возможно только в комплексе с другими инструментами и методами, поскольку ВАБ, являясь однокритериальной моделью, не чувствителен к такой характеристике, как эффективность эксплуатации. Вместе с тем модели и результаты ВАБ могут быть применены для ранжирования оборудования по его влиянию на безопасность.

Значительных успехов в практической реализации РТС достигла ЮУАЭС, принимающая активное участие в реализации плана мероприятий НАЭК «Энергоатом» по переводу оборудования 4- и 3-го классов безопасности на РТС.

Поскольку работы по переводу оборудования АЭС на РТС выполняются в Украине впервые, возникают различные трудности, связанные как с нормативно-техническим обеспечением, так и с методологической частью процедур РТС.

Для усовершенствования и уточнения оценок потенциальной частоты отказов, длительности межремонтного периода и периодичности контроля технического состояния предлагается совместно с экспертной оценкой (по методу парных сравнений) использовать прогнозные оценки численных показателей ОПТС с оценкой гамма-процентной наработки (на основе диффузионно-немонотонного распределения наработки до отказа), а также байесовский метод для совместного учета таких составляющих, как прогноз изменения ОПТС, данные по отказам оборудования и экспертные оценки. Для окончательного выбора значения показателя (из нечеткого множества) при его экспертной оценке рекомендуется применять метод центра тяжести — более точный и более общий по сравнению с методом максимума.

Список использованной литературы

1. IAEA-TECDOC-1590. Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants. — Vienna : IAEA, 2007. — 140 p.
2. IAEA-TECDOC-1200. Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants. — Vienna : IAEA, 2001. — 104 p.
3. СОУ-Н ЯЕК 1.010:2008. Правила організації технічного обслуговування і ремонту систем та обладнання атомних електростанцій. — Офіц. вид. — К. : ДП НАЕК «Енергоатом», 2008. — V, 116 с. — (Норм. документ Мінпаливенерго України. Правила).
4. НП 306.2.141-2008. Загальні положення забезпечення безпеки атомних станцій. / Державний комітет ядерного регулювання України. — 2008. — 35 с.
5. МТ.0.3812.0024. Методика определения критичности оборудования АЭС на основе функционального анализа / ГП НАЭК «Энергоатом», ОП «Южно-Украинская АЭС». — 2010. — 22 с.
6. МТ.0.3812.0018. Методика определения видов и периодичности контроля технического состояния оборудования на основе экспертной оценки / ГП НАЭК «Энергоатом», ОП «Южно-Украинская АЭС». — 2012. — 19 с.
7. МТ.0.3812.0159. Определение критичных узлов оборудования АЭС и их показателей безотказности на основе экспертной оценки / ГП НАЭК «Энергоатом», ОП «Южно-Украинская АЭС». — 2012. — 18 с.

8. *PK.0.3812.0022*. Диалоговая компьютерная система определения критичности, безотказности, видов и периодичности контроля технического состояния оборудования АЭС на основе экспертной оценки. Руководство пользователя / ГП НАЭК «Энергоатом», ОП «Южно-Украинская АЭС». — 2013. — 54 с.

9. *Заде Л. А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. / Л. А. Заде. — М. : Мир, 1976. — 165 с.

10. *Саати Т. Л.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати; Пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. — М. : Радио и связь, 1993. — 278 с.

11. *Комаров Ю. А.* Оценки длительности до проведения планового технического обслуживания и ремонта при применении концепции ремонта по техническому состоянию оборудования АЭС / Ю. А. Комаров, В. Ю. Кочнева // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля. — 2011. — Вып. 17. — С. 27–39.

12. *ДСТУ 3004–95*. Надежность техники. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. — К. : Госстандарт Украины, 1995. — 123 с.

13. *Комаров Ю. А.* Развитие риск-ориентированных подходов для внедрения концепции ремонта по техническому состоянию оборудования атомных электростанций / Ю. А. Комаров // Ядерная та радіаційна безпека. — 2013. — № 3 (59). — С. 21–26.

References

1. *IAEA-TECDOC-1590*. Application of Reliability Centred Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants. — Vienna : IAEA, 2007. — 140 p. (Eng)

2. *IAEA-TECDOC-1200*. Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants. — Vienna : IAEA, 2001. — 104 p. (Eng)

3. *SOU-N YAEK 1.010:2008*. Rules of the maintenance and repair for nuclear power plants systems and equipment. — Off. view. — Kyiv : DP NAEK «Energoatom», 2008. — V, 116 p. — (Regulations Energy of Ukraine. Rules) (Ukr).

4. *NP 306.2.141–2008*. General safety of nuclear power plants. / State Nuclear Regulatory Committee of Ukraine, 2008. — 35 p. (Ukr)

5. *MT.0.3812.0024*. Methods for determining the criticality of equipment of nuclear power plants on the basis of functional analysis / DP NAEK «Energoatom», OP «South-Ukrainian nuclear power plants». — 2010. — 22 p. (Rus)

6. *MT.0.3812.0018*. Methods of determining the types and frequency of monitoring the technical condition of the equipment based of expert judgment / DP NAEK «Energoatom», OP «South-Ukrainian nuclear power plants». — 2012. — 19 p. (Rus)

7. *MT.0.3812.0159*. Determination of critical components of NPP equipment and of reliability on the basis of expert judgment / DP NAEK «Energoatom», OP «South-Ukrainian nuclear power plants». — 2012. — 18 p. (Rus)

8. *RK.0.3812.0022*. Interactive computer system for determining criticality, reliability, types and frequency of monitoring the technical condition of NPP equipment based of expert judgment. Manual / DP NAEK «Energoatom», OP «South-Ukrainian nuclear power plants». — 2013. — 54 p. (Rus)

9. *Zade L. A.* The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions. — Moscow : Mir, 1976. — 165 p. (Rus)

10. *Saaty T. L.* Decision. Hierarchy analytic method / English translated by R. G. Vachnadze. — Moscow : Radio i svyaz, 1993. — 278 p. (Rus)

11. *Komarov Yu. A.* Assessment of time to scheduled maintenance and repair using conception of reliability centred maintenance of NPP equipment / Yu. A. Komarov, V. Yu. Kochneva // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of nuclear power plants and of Chernobyl). — 2011. — Iss. 17. — P. 27–39. (Rus)

12. *DSTU 3004–95*. Dependability of technics. Methods of estimation dependability by operating data — Kiev: State Standard of Ukraine, 1995. — 123 p. (Rus, Ukr)

13. *Komarov Yu. A.* Development risk inform approach for introducing the Reliability Centred Maintenance concept to Nuclear Power Plants // Yaderna ta radiatsiyna bezpeka (Nuclear and radiation safety). — 2013. — № 3 (59). — P. 21–26.

Получено 12.02.2014.