
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039.5

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ БЛОКОВ ИЗ СОСТАВА
УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
НА АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ ОБ ОТКАЗАХ И
ДЕФЕКТОВ**

© 2020 Д.С. Самохин, М.А. Альсльман

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В статье рассмотрена методика анализа статистических данных об отказах для оценки показателей надежности блоков состава унифицированного комплекса технических средств на Балаковской АЭС, расчеты проводились в консервативном предположении, из-за отсутствия некоторых данных в журнале дефектов. Анализ полученных данных касался случая нулевых отказов некоторых электрических блоков за период наблюдения. Результаты показывают, что эти блоки вполне надежны для продолжения их эксплуатации.

Ключевые слова: Надежность, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, Вероятность безотказной работы, журнал дефектов, консервативное предположение, унифицированный комплекс технических средств, безопасность, наработка на отказ.

Поступила в редакцию 21.03.2020

После доработки 17.08.2020

Принята к публикации 26.08.2020

Введение

Гарантия безопасной эксплуатации атомной электростанции (АЭС), приходит через обеспечение высокого уровня надежности систем и оборудования АЭС. Оценка показателей надежности этих элементов проводится с целью выявления слабых мест, а также прочности оборудования эксплуатируемого на АЭС. Как известно существует два основных подхода к оценки показателей надежности АЭС: детерминистский подход и вероятностная оценка [1, 2]. Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) является эффективным инструментом оценки показателей надежности оборудования АЭС.

В принципе, оценка показателя надежности оборудования АЭС может быть выполнена путем последующего анализа данных отказавшего оборудования в процессе фактической эксплуатации, либо она может быть рассчитана по результатам испытаний непосредственно после производства изделия. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения [3]. В случае реальной эксплуатации все дефекты, возникшие при эксплуатации устройства, должны быть зафиксированы в специальном документе. Кроме того, возникают трудности, связанные с точным получением данных или недостатками информационной системы. При проведении лабораторных испытаний образцов (систем, модулей), работающих в определенных условиях, близких к реальным, на АЭС необходимо наличие специальных испытательных устройств и квалифицированного персонала. Существует множество методов, которые используют для оценки показателей надежности оборудования по данным эксплуатации [4, 5, 6].

Как известно, при эксплуатации атомной электростанции данные об отказах оборудования заносятся в специальные журналы учета отказов оборудования,

приведших к снижению мощности или остановке энергоблока АЭС. Следует отметить, что оборудование, эксплуатируемое на АЭС, спроектировано с высоким качеством и контролируется специальной программой обеспечения качества, характерной для ядерной технологии, с целью обеспечения высокого уровня безопасности и надежности. Довольно часто в таких журналах зафиксированы либо единичные отказы оборудования, либо они отсутствуют совсем. Для решения данной проблемы было проведено достаточно много исследований по анализу надежности оборудования, которое никогда не отказывало во время эксплуатации [7, 8, 9].

Структура и функции унифицированного комплекса технических средств

Унифицированный комплекс технических средств (УКТС), предназначен для эксплуатационной поддержки устройств управления, защиты и сигнализации, выполняющих следующие функции [10]:

- 1) технологические защиты и блокировки;
- 2) автоматика (регуляторы, автоматическое включение резерва);
- 3) прием аналоговой и дискретной информации по параметрам технологических процессов;
- 4) контроль за работой устройств управления, защиты и сигнализации;
- 5) технологическая сигнализация, сигнализация положения арматуры и состояния механизмов;
- 6) прием дискретной и аналоговой информации по параметрам технологических процессов;
- 7) сбор и генерация дискретной информации в другие подсистемы.

УКТС представляет собой единую систему, состоящую из шкафа с электрическим оборудованием, соединенным электрическими кабелями, а также включает в себя электрические блоки, предназначенные для выработки управляющих сигналов и выдачи информации оперативному персоналу. Блоки, входящие в состав композиции, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Функциональные блоки УКТС [Functional units of the Unified Set of Technical Means]

БКИН – Блок Контроля Изоляции И Напряжения	БУЗ – Блок управления запорной арматурой	БПН – Блок преобразования напряжения
БФН - Блок Формирования номера по избирательной системе управления	БУД - Блок управления электродвигателем	БЛВ - Блок логический времени
БКП - Блок контроля предохранителей	БВР - Блок включения регулятора	БГР - Блок гальванического разделения
АДП - Аналого-дискретный преобразователь (АДП-1, 2, 11, 22)	БАР1 - Блок автоматического включения резервного механизма	БРП - Блок реле промежуточный
БР-Т - Блок распределения унифицированного токового сигнала	БФК - Блок контроля и формирования команд	БСИ - Блок сигнализации индивидуальный
БГР-Т - Блок гальванического разделения унифицированного о токового сигнала	БФС - Блок фиксации срабатывания	БСУ - Блок сигнализации участковый
БПУ - Блок Управления Промежуточный	БПК - Блок приема команды защиты.	БКЛ - Блок ключей логических
БУК - Блок управления регулирующим клапаном	БЛП - Блок логических преобразований	БРВ - Блок выходных реле

Оценка показателей надежности

Надежность характеризуется одним из следующих параметров:

1. Вероятность безотказной работы ВБР $P(t)$ является одним из основных показателей надежности и определяется как вероятность того, что время T безотказной

работы аппаратуры будет больше заданного оперативного времени t работы, формула (1):

$$P(t) = P(T > t), \quad (1)$$

где T – время непрерывной работы системы до первого отказа.

Статистическое значение $P(t)$ оценивается как отношением числа N_0 , однотипных экземпляров аппаратуры, находившихся в работе в течении времени t , к общему числу зафиксированных отказов $n(t)$ аппаратуры к моменту времени $t=0$, формула (2):

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (2)$$

где N_0 – общее число наблюдаемых элементов;

$n(t)$ – число элементов, отказавших за время t .

2. Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – представляет собой частоту, с которой элемент или компонент выходит из строя и имеет единицу измерения обратную времени, например 1/час. Лямбда характеристика численно равна вероятности того, что объект, проработавший безотказно до момента t , откажет в последующую малую единицу времени. Оценка $\lambda(t)$ производится по формуле (3):

$$\lambda(t) = \frac{f'(t)}{1 - f(t)} = -\frac{p'(t)}{p(t)}, \quad (3)$$

где $f(t)$ – частота отказов на интервале времени $(0, t)$;

$P(t)$ – вероятность безотказной работы на интервале времени $(0, t)$.

Статистически интенсивность отказов определяется как отношение числа $n(t)$ отказавших в единицу времени экземпляров (элементов) к числу N_0 экземпляров, которые исправны в момент времени t , формула (4):

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_0 \times \Delta t}, \quad (4)$$

где Δt – интервал времени.

Определяя интенсивность отказов ВБР $P(t)$ вычисляют по формуле (5):

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

Исходя из теории надежности, вероятность отказов $Q(t)$ вычисляется по формуле (6):

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (6)$$

3. Средняя наработка до отказа ($MTTF$) – среднее время работы элемента от периода пуска в эксплуатацию до первого отказа оценивается по формуле (7):

$$T_0 = \frac{\sum_{k=1}^N t_{\text{слу}}}{N}, \quad (7)$$

где $t_{\text{слу}}$ – срок службы k -го образца,

N – общее число наблюдаемых элементов;

r – число отказов за время t .

4. Средняя наработка на отказ θ (среднее время безотказной работы) «MTBF» θ , формула (8):

$$\theta = \frac{\sum_{k=1}^r T_k}{r} \quad (8)$$

где T_k – время безотказной работы между $(k-1)$ -м и k -м отказами;

r – число отказов за время t .

В случае применения экспоненциального распределения, средняя интенсивность отказов может быть рассчитана по формуле (9) для ремонтпригодных элементов и по формуле (10) для невосстанавливаемых элементов:

$$\tilde{\lambda} = \frac{1}{\theta}, \quad (9)$$

$$\tilde{\lambda} = \frac{1}{T_0}. \quad (10)$$

При оценке показателей надежности и безопасности оборудования объектов ядерных технологий по эксплуатационным данным, среди прочих, часто возникают проблемы двух родов [11, 12]:

1) проблема малой статистики по отказам;

2) проблема выбора адекватных законов распределения изучаемых случайных величин.

Без (мало-)аварийный результат испытаний. Пуассоновский поток

Оборудование для атомной отрасли разрабатывают с учетом необходимости долговременное безаварийное эксплуатации. Надежность для данных изделий должна обуславливаться высокой степенью. Поэтому отказы данных типов оборудования возникают с очень малой вероятностью либо не возникают вовсе [11]. Отказы этих объектов очень редкие, поток отказов которых описывает распределение Пуассона. Распределение числа m отказов на интервале времени наблюдения t имеет вид формулы (11):

$$P_m(t) = \frac{\Lambda(t)^m}{m!} e^{-t}, \quad (11)$$

где $\Lambda(t)$ – ведущая функция потока отказов, подлежащая оценке.

В зависимости от характера задачи, вы можете установить эту функцию для последующих оценок двумя подходами:

1) в случае непрерывного эксплуатации объекта в течение времени t , то по формуле (12):

$$\Lambda(t) = \bar{\lambda} \times t, \quad (12)$$

где $\bar{\lambda}$ – средний на интервале $[0, t]$ параметр потока отказов.

2) в случае проведенных k операций с объектом или о k изделиях, подверженных испытаниям, на интервале времени t , то по формуле (13):

$$\Lambda(t) = kp, \quad (13)$$

где p – вероятность того, что одна операция окажется неудачной, например, закончится аварией.

3) во втором случае формулу (11), которую удобно переписать в виде формулы (14):

$$P_{m,k} = \frac{(kp)^m}{m!} e^{-kp}. \quad (14)$$

Допустим, в результате наблюдения за объектом принято решение, что он отказывал на интервале времени t ровно $i \geq 0$ раз. Тогда вероятность того, что на этом интервале отказов объекта было хотя бы на один больше, формула (15):

$$P_\alpha = \sum_{m=i+1}^{\infty} \frac{\Lambda(t)^m}{m!} e^{-\Lambda(t)}. \quad (15)$$

В случае k операций эта вероятность записывается формулой (16):

$$P_\alpha = \sum_{m=i+1}^{\infty} \frac{(kp)^m}{m!} e^{-(kp)}. \quad (16)$$

Вероятности P_α отражает степень недоверия к наблюдаемому без (мало-) аварийному опыту. Чем меньше значение P_α , тем большее мы можем утверждать, что без (мало-) аварийный опыт эксплуатации объекта не является результатом «везения», а предопределен адекватностью принимаемых мер по обеспечению надежной эксплуатации объекта или безопасному проведению операций с ним.

Особый интерес представляют оценки при $i = 0$, т.е. когда имеется чисто безаварийный опыт эксплуатации объекта или проведения операций с ним. В этом случае с помощью формул (17) и (18) оцениваются вероятностные характеристики событий, которые ни разу не наблюдались на практике [11, 12]:

$$\tilde{\lambda}(t) = -\frac{\ln(1 - P_\alpha)}{t}, \quad (17)$$

$$\tilde{p}_k(t) = -\frac{\ln(1 - P_\alpha)}{k}. \quad (18)$$

Расчёт показателей надёжности исполнительных блоков, входящих в состав аппаратуры комплекса автоматизированной системы управления технологическими процессами

Исходные данные

Информация об отказах системе, конструкции и компонентах атомных электростанций записывается в специальный документ, называемый журналом дефектов. Время, причины, по которым он произошёл, и время ремонта, необходимое для обнаруженной неисправности также дата ввода объекта в эксплуатацию, должны быть записаны в этом документе. При этом выяснить, какой именно элемент из совокупности однотипного оборудования отказал, когда тот или иной элемент установлен в систему, сколько времени он находился на хранении, каков характер

ремонта, не всегда представляется возможным. Журнал дефектов является живым документом, то есть он должен обновляться и поддерживаться на протяжении всего срока эксплуатации АЭС в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, а также контролироваться программой обеспечения качества эксплуатирующих АЭС организаций.

Статистическая информация, поступающая для анализа, представлена следующим образом: известно количество отказов элементов k из совокупности однотипных объектов заданного объема m , реализовавшихся на i -м интервале наблюдения. Данные об отказах распределении по годам эксплуатации представлены в таблице 2. Представленные значения являются приблизительными и не передают реальную картинку по отказам оборудования.

Таблица – 2 Данные об отказах распределении по годам эксплуатации на Балаковской АЭС [Data on distribution failures by years of operation at Balakovo NPP]

Блоки УКТС	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Количество отказов [x]
АДП	10	5	3	0	0	0	0	1	0	19
БАР	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
БВР	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
БГР	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
БГР-Т	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
БКИН	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
БКЛ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БКП	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
БЛВ	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
БЛП	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
БПК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БПН	1	0	0	0	1	0	0	0	1	3
БПУ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БРВ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БРП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БР-Т	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БСИ	1	2	0	0	0	1	0	0	0	4
БСУ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
БУД	1	0	0	0	0	0	0	0	1	2
БУЗ	5	3	0	2	0	0	0	0	2	12
БУК	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БФК	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
БФН	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
БФС	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Результаты оценки показателей надежности

Расчет был выполнен на основе следующих консервативных предположений:

1. Поскольку мы не располагали данными по вводу в эксплуатацию исследуемого оборудования, а в дефектных журналах был обозначен период времени эксплуатации с 01.01.2010 по 31.12.2018, то мы сделали предположение, что все блоки установлены на АЭС в момент времени 01.01.2010.

2. Общее количество блоков УКТС каждого типа для нашего случая неизвестно, но мы знали общее количество шкафов УКТС (600 шкафов для каждого из четырех блоков Балаковской АЭС) [12], поэтому будем считать консервативным подходом, что каждый шкаф содержит только один блок каждого типа.

Оценка интенсивности отказов λ при числе отказов $x \neq 0$

Оценка лямбда характеристики блоков УКТС, была определена по формуле (4). В данном случае формулу (4) удобнее переписать в виде формулы (19):

$$\lambda(t) = \frac{x}{m \times \Delta t}, \quad (19)$$

где x – количество отказов за время наблюдения Δt ;

m – общее количество элементов данного типа.

Полученные значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Интенсивности отказов УКТС блоков при $x \neq 0$ [Failure rates of Unified Set of Technical Means units at $x \neq 0$]

Блоки УКТС	Количество элементов данного типа [m]	Количество отказов [x]	$\lambda(1/\text{год})$
АДП	2400	19	8,795E-04
БАР	2400	1	4,630E-05
БВР	2400	1	4,630E-05
БГР	2400	1	4,630E-05
БГР-Т	2400	2	9,259E-05
БКИН	2400	2	9,259E-05
БКП	2400	1	4,630E-05
БЛВ	2400	2	9,259E-05
БЛП	2400	1	4,630E-05
БПН	2400	3	1,389E-04
БСИ	2400	4	1,852E-04
БСУ	2400	1	4,630E-05
БУД	2400	2	9,259E-05
БУЗ	2400	12	5,555E-04
БФК	2400	6	2,778E-04

Оценка интенсивности отказов λ при числе отказов $x = 0$

Оценка лямбда характеристики блоков УКТС проводится по формуле (17) (при $P_\alpha = 0,05; 0,5; 0,95$ и где t – это общее время наблюдения за всеми объектами) и представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Интенсивности отказов УКТС блоков при $x = 0$ [Failure rates of Unified Set of Technical Means units at $x = 0$]

Блоки УКТС	Количество элементов данного типа (m)	$\lambda(1/\text{год})$		
		$P_\alpha=0,95$	$P_\alpha=0,5$	$P_\alpha=0,05$
БКЛ	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БПК	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БПУ	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БРВ	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БРП	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БР-Т	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БУК	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БФН	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06
БФС	2400	1,387E-04	3,209E-05	2,37469E-06

Заключение

В данной статье выполнен расчет надежности корпусных блоков УКТС, которые являются одним из важнейших элементов системы АСУТП по результатам их

эксплуатации за 2010-2018 годы. Несмотря на то, что при оценке интенсивности отказов использовалось консервативное предположение, расчеты показали, что большинство приборов достаточно надежны и соответствуют требованиям федеральных норм и правил НП-001-15 [13]. В данных требованиях обозначена величина вероятности невыполнения элементом функции безопасности 10^{-3} как пороговая для наложения отказа данного элемента на исходное событие при анализе безопасности.

Например, в статье расчетным путем продемонстрировано, что худший блок АДП имеет приемлемое значение λ -характеристики, равное $8,795 \times 10^{-4}$ [1/год], при этом вероятность невыполнения функции безопасности составляет $Q(t)=8 \times 10^{-3}$. В то же время лучший блок БАР имеет приемлемое значение λ -характеристики, равное $4,630 \times 10^{-5}$ [1/год], и вероятность невыполнения функции безопасности $Q(t)=4 \times 10^{-4}$.

Оценка показателей надежности оборудования системы УКТС с использованием информации о безаварийном опыте эксплуатации была проведена впервые. Полученные результаты показывают приемлемость консервативных допущений, выдвигаемых при проведении подобных оценок. Предполагаем, что полученные результаты будут крайне полезны при выполнении работ, связанных с оценкой показателей надежности редко отказывающих элементов или элементов, отказ которых не был зафиксирован за многолетний период эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов, В. А.* Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – Москва : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
2. *Вишняков, Я. Д.* Общая теория рисков / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008 – 368 с.
3. *Vieru, Gh.* Reliability analysis and experimental reliability parameter determination of nuclear reactor equipments. 2014. Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 12. Honolulu. Hawaii.
4. *Антонов, А. В.* Исследование метода ядерной оценки плотности распределения / А. В. Антонов, Н. Г. Зюляева, В. А. Чепурко // Диагностика и прогнозирование состояния сложных систем: сборник научных трудов №16 кафедры АСУ. – Обнинск : ИАТЭ, 2006. – С. 9-23.
5. *Антонов, А. В.* Оценивание характеристик надежности элементов и систем ЯЭУ комбинированными методами / А. В. Антонов, В. А. Острейковский. – Москва : Энергоатомиздат, 1993. – 368 с.
6. *Антонов, А. В.* Статистический анализ данных об отказах оборудования АЭС с учетом неоднородности потока отказов / А. В. Антонов, К. А. Белова, В. А. Чепурко // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2011. – № 2. – С. 13.
7. *Hanly, J. A.* If nothing goes wrong, is everything all right interpreting zero numerators / James A. Hanly // The Journal of the American Medical Association. 1983. Т. 149. № 13. Р. 4.
8. Прогнозирование отказов оборудования в условиях малого количества поломок / Н. И. Шаханов [и др.] // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2016. – № 06. – С. 6.
9. *Razzaghi, M.* On the Estimation of Binomial Success Probability with Zero Occurrence in Sample / Mehdi Razzaghi // Journal of Modern Applied Statistical Methods. 2002. Т. 1. № 2. Р. 8.
10. Министерство Российской Федерации по атомной энергии, Концерн «Росэнергоатом». Балаковская атомная электростанция служба подготовки персонала унифицированный комплекс технических средств.
11. *Волков, Ю. В.* Надежность и безопасность ЯЭУ / Ю. В. Волков. – Обнинск : ИАТЭ, 1997. – 102 с.
12. *Волков, Ю. В.* Обеспечение консервативности оценок показателей надежности объектов ядерных технологий при малой статистике по отказам / Ю. В. Волков, Д. С. Самохин // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 1. – С. 9-16.
13. НП-001-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. – Москва : Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2015. – 30 с.

REFERENCES

- [1] Akimov V.A., Lesnykh V.V., Radaev N.N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoy i tekhnogennoy sferakh* [Fundamentals of Risk Analysis and Management in the Natural and Technogenic Spheres]. Moskva: Delovoy ekspress [Moscow: Delovoy Express]. 2004. 352 p. (in Russian).
- [2] Vishnyakov Ya.D., Radaev N.N. *Obshchaya teoriya riskov* [General Risk Theory]. Moskva: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya» [Moscow: «Academy» Publishing Center]. 2008. 368 p. (in Russian).
- [3] Vieru Gheorghe. *Reliability Analysis and Experimental Reliability Parameter Determination of Nuclear Reactor Equipments*. 2014. Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 12. Honolulu. Hawaii.
- [4] Antonov A.V., Zyulyaeva N.G., Chepurko V.A. *Issledovaniye metoda yadernoy otsenki plotnosti raspredeleniya* [Study of the Method of Nuclear Estimation of Distribution Density]. *Diagnostika i prognozirovaniye sostoyaniya slozhnykh sistem: sbornik nauchnykh trudov №16 kafedry ASU* [Diagnostics and Forecasting of Complex Systems: collection of scientific papers №16 of the Department of ACS]. Obninsk: IATE [Obninsk: INPE]. 2006. P. 9-23 (in Russian).
- [5] Antonov A.V., Ostreikovskiy V.A. *Otsenivaniye kharakteristik nadezhnosti elementov i system YAEU kombinirovannymi metodami* [Estimation of Reliability Characteristics of Elements and Systems of Nuclear Power Plants by Combined Methods]. Moskva: Energoatomizdat [Moscow: Energoatomizdat]. 1993. 368 p. (in Russian).
- [6] Antonov A.V., Belova K.A., Chepurko V.A. *Statisticheskiy analiz dannykh ob otkazakh oborudovaniya AES s uchetom neodnorodnosti potoka otkazov* [Statistical Analysis of Data on Failures of NPP Equipment Taking into Account the Heterogeneity of the Failure Flow]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika* [University News. Nuclear Energy]. 2011. № 2. P. 13 (in Russian).
- [7] James A. Hanly. *If Nothing Goes Wrong, is Everything All Right Interpreting Zero Numerators*. *The Journal of the American Medical Association*. 1983. T. 149. № 13. P. 4.
- [8] Shakhanov N. I. [et al.] *Prognozirovaniye otkazov oborudovaniya v usloviyakh malogo kolichestva polomok* [Forecasting Equipment Failures in Conditions of a Small Number of Breakdowns]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Cherepovets State University]. 2016. № 06. P. 6 (in Russian).
- [9] Mehdi Razzaghi. *On the Estimation of Binomial Success Probability with Zero Occurrence in Sample* / Mehdi Razzaghi // *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. 2002. T. 1. № 2. P. 8.
- [10] *Ministerstvo Rossiyskoy Federatsii po atomnoy energii, Kontsern «Rosenergoatom». Balakovskaya atomnaya elektrostantsiya sluzhba podgotovki personala unifitsirovanny kompleks tekhnicheskikh sredstv* [Ministry of the Russian Federation for Atomic Energy, Rosenergoatom Concern. Balakovo Nuclear Power Plant Personnel Training Service Unified Set of Technical Means]. URL: <https://studfile.net/preview/5288613/> (in Russian).
- [11] Volkov Yu.V. *Nadezhnost' i bezopasnost' YAEU* [Reliability and Safety of Nuclear Power Plants]. Obninsk: IATE [Obninsk: INPE]. 1997. 102 p. (in Russian).
- [12] Volkov Yu.V., Samokhin D.S. *Obespecheniye konservativnosti otsenok pokazateley nadezhnosti ob"yektov yadernykh tekhnologiy pri maloy statistike po otkazam* [Ensuring Conservative Estimates of Reliability Indicators for Nuclear Technology Facilities with Low Failure Statistics]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika* [University News. Nuclear Energy]. 2008. № 1. P. 9-16 (in Russian).
- [13] NP-001-15. *Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii. Obshchiye polozheniya obespecheniya bezopasnosti atomnykh stantsiy*. Moskva: Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru [NP-001-15. Federal Norms and Rules in the Field of Atomic Energy Use. General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants. Moscow: Federal Service for Ecological, Technological and Nuclear Supervision]. 2015. 30 p.

Evaluation of Reliability Indicators of Units of Unified Set of Technical Means at Nuclear Power Plants Using Information About Failures and Defects

Samokhin D.S.¹, Alslman M.A.²

National Research Nuclear University «MEPhI», Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

¹*e-mail: DSSamokhin@mephi.ru*

²*ORCID iD: 0000-0002-7971-2507*

e-mail: moh.salman85@gmail.com

Abstract – The article deals with the method of analyzing statistical data on failures to assess the reliability of units of the Unified Set of Technical Means (UCTM) at the Balakovo NPP. The calculations are carried out under a conservative assumption due to the lack of some data in the defect log. The analysis of the obtained data concerned the case of zero failures of some blocks during the observation period. The results show that these blocks are quite reliable to continue their operation.

Keywords: reliability, mean time to failure, failure rate, probability of failure-free operation, defect log, conservative assumption, Unified Set of Technical Means, safety, time to failure.