

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА В ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Ю.В. Волков, А.В. Соболев

*Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*



В статье рассмотрены проблемные стороны современных методик анализа надежности персонала. Показана ошибочность пути развития методов анализа надежности персонала (АНП) в сторону расширения перечня учитываемых факторов, влияющих на персонал. Затронуты вопросы создания баз данных по происшествиям на АЭС для получения на основании анализа этой информации параметров, необходимых для выполнения ВАБ, а также даны рекомендации по организации таких систем. Представлена возможная классификация ошибок персонала.

Определяющим параметром, характеризующим безопасность установки, в современной ядерной индустрии принимается значение риска от ее использования [1, 2]. В свою очередь, оценки риска обладают таким негативным свойством, как высокая неопределенность результата [3]. Существенный вклад в эту неопределенность вносят данные о надежности персонала (оператора или смены).

Такое положение заставляет обратить серьезное внимание на современные методики АНП и актуализировать исследования в этой сфере. В современном мире известно более 50 методов АНП, все из которых могут быть классифицированы по следующим признакам:

- количественные и качественные;
- первого и второго поколения;
- холистические и аналитические;
- использующие множество и несколько факторов, влияющих на персонал (Performance Shaping Factors).

Поскольку результаты и методы АНП в данной работе рассматриваются с точки зрения дальнейшего их использования при выполнении вероятностного анализа безопасности (ВАБ), из рассмотрения исключены подходы и методы, дающие сугубо качественные результаты [4, 5]. Кроме того, рассмотрение не затрагивает методик первого поколения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ОШИБОК ПЕРСОНАЛА В СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДИКАХ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА

Современные методы АНП [6, 7] определяют вероятность ошибочных действий человека, работающего в конкретных условиях производства работ при выполне-

нии разного типа действий, на основании следующего соотношения

$$P = P^b \cdot \prod_{j=1}^n PSF_j, \quad (1)$$

где P – вероятность ошибки заданного типа при выполнении рассматриваемого действия в условиях конкретного рабочего места; P^b – базовая вероятность заданного типа ошибки в идеальных условиях; PSF_j – значение коэффициента, соответствующего j -му фактору, влияющему на персонал, определенному для конкретных условий реализации операции.

Соотношение (1) предполагает важное допущение о том, что факторы, воздействующие на персонал, независимы между собой. Это допущение, как указано в [8], крайне некорректно с точки зрения современной науки о человеке. Кроме этого, забегая вперед, необходимо отметить, что базовая вероятность по своей природе зависит от времени. Ясно, что величина этой вероятности будет различна для разных периодов ожидания/наблюдения.

Спорными являются также и методы определения значений P^b и PSF . Существует два различных подхода, заключающиеся в использовании

- 1) экспертных опросов (ATHEANA) [7];
- 2) статистических данных, верифицированных с другими методами (SPAR-H) [6].

КРИТИКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНП

Наиболее часто критика современных методик АНП направлена на слабую предсказательную способность последних. Говоря другими словами, результаты, получаемые на основании современных методик АНП, слабо (и редко) согласуются с реальными наблюдениями.

Более серьезная критика со стороны представителей науки о человеке [8] направлена на необоснованность допущений, заложенных в эти методы. Так, базовая вероятность P^b , входящая в (1), подразумевает, что возможны условия «вакуума» внешнего воздействия (в том числе, воздействия со стороны общества и среды обитания). Кроме того, введение базовой вероятности означает, что базовая вероятность ошибки может быть определена независимо от контекста задачи/операции.

Существуют также претензии и со стороны пользователей результатов АНП (исполнителей ВАБ). В отношении базовой вероятности P^b претензии заключаются в том, что, во-первых, методы определения не соответствуют ее смыслу и различаются в корне для разных методик; во-вторых, вероятность ошибки/отказа человека зависит от времени.

Если принять, что ошибки/отказы персонала являются случайными редкими явлениями, то базовая вероятность ошибки персонала определенного типа должна была бы иметь экспоненциальную зависимость от времени вида

$$P^b(t) = 1 - e^{-\rho \cdot t}, \quad (2)$$

где t – время наблюдения, ρ – параметр распределения. Развивая мысль, можно прийти к заключению, что время до ошибки/отказа персонала может иметь распределение Вейбулла (экспоненциальное распределение является его частным случаем), поскольку для любого типа ошибки можно выделить составляющие ее «подтипы» (например, ошибка принятия решения может произойти из-за ошибки восприятия информации, ошибки построения перспективы развития ситуации, ошибки обработки исходной информации и т.д.).

В отношении факторов, влияющих на персонал, имеется не меньше (а то и больше) замечаний. Например, количество таких факторов варьируется в известных на сегодня методах АНП от 8 (SPAR-H) [6] до 40 (CREAM) [9]. Величины коэффи-

циентов, соответствующих некоторому конкретному фактору и его значению (например, такой фактор как *опыт*, и его значение – *высокий*), различны в разных методах.

По поводу использования факторов, влияющих на персонал, необходимо отметить, что количественное или качественное значение, характеризующее фактор, является по своей сути случайной величиной. Изучая все тот же, присутствующий во всех методиках АНП фактор «*опыт оператора*» на конкретном энергоблоке, можно прийти к выводу, что его значение меняется даже в течение суток. А что будет, если рассматривать значение этого фактора для десятка АЭС, каждая из которых состоит из нескольких энергоблоков?

Кроме того, противоречив сам учет опыта. Так, для часто встречающихся задач вероятность ошибки опытного оператора меньше, чем молодого. Однако при решении неординарных задач опытный оператор ошибается чаще, чем менее опытный.

Аналогично приведенному выше примеру с фактором «опыт оператора», можно рассмотреть и другие факторы. Но такое детальное рассмотрение всех известных факторов, влияющих на персонал, крайне трудоемко, и тем более трудоемко определение законов распределения для этих факторов и их параметров.

В качестве обоснования утопичности идеи учета всех мыслимых факторов, влияющих на человека-оператора, может быть приведен пример широко известного в современной гидрометеорологии «эффекта бабочки». Суть этого эффекта, доказанного посредством современной теории хаоса (теория катастроф или диссипативных систем), заключается в том, что при желании предсказать погоду более чем на неделю необходимо учитывать столь малые эффекты, как взмах крыльев бабочки сегодня. Дело в том, что при прогнозе более чем на неделю, на погоду существенно влияют даже столь малые воздействия, как порхание бабочки.

Величины коэффициентов, которые ставятся в соответствие определенному значению конкретного фактора, являются также случайными в связи с различием личных качеств каждого человека. Кроме того, сами значения коэффициентов часто не увязаны с известными в современной психологии (психология труда, инженерная психология и т.д.) закономерностями.

МНОГООБРАЗИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНП

Современные методики АНП отличаются огромным многообразием как по гипотезам, заложенным в их основу, так и по способам определения и учета базовых вероятностей и влияющих на персонал факторов.

Один из современных методов SPAR-H [6] предполагает разделение базовой вероятности ошибки персонала на два типа: ошибка диагностирования и ошибка выполнения. В то же время методика ATHEANA, изложенная в работе [7], предполагает определение вероятности ошибки персонала для каждого, важного для безопасности действия, присутствующего в контексте выполняемой операции/задачи. В дополнение необходимо отметить, что существует множество попыток увязать вероятность ошибки персонала с контекстом выполняемой задачи/операции [10].

Отечественные методики АНП предлагают не меньшее многообразие. Например, авторы [11] отмечают в работах отечественных специалистов по персоналу противоречивость классификации видов деятельности на уровне операций и действий. Там же приведена классификация типовых функций персонала, разработанная А.А. Деревянкиным на основе опыта проведения ВАБ АЭС, которая подразделяет три типа функций:

- функции, выполняемые в процессе нормальной эксплуатации;
- функции, выполняемые в процессе нормальной эксплуатации при техобслуживании систем и оборудования;

- функции, выполняемые после возникновения исходных событий в процессе развития аварий.

Современные методики анализа надежности персонала существенно отличаются как по составу учитываемых факторов, влияющих на персонал, так и по методам определения влияния этих факторов (величина коэффициента, соответствующего некоторому конкретному фактору). Наиболее гибкой в этом смысле, по мнению авторов этой статьи, является методика ATHEANA [7], поскольку к указанным в ней 17 основным факторам возможно также введение (при необходимости) дополнительных. Величина коэффициента, соответствующего некоторому конкретному фактору при учете его влияния на вероятность ошибки персонала, как было указано выше, определяется методами экспертного опроса. Однако автор методики CREAM подчеркивает в [8] необходимость определения значения базовой вероятности и значений коэффициентов, соответствующих факторам, влияющим на персонал, на основании статистических данных. Кроме того, в статье [8] указывается необходимость создания базы данных по происшествиям на АЭС и данным тренировок персонала, в которой помимо фактов ошибок персонала должны фиксироваться также все возможные влияющие на персонал воздействия, условия выполнения и контекст операции/задачи. Создание такой базы в лучшем случае крайне затруднительно, а, по сути, невозможно, поскольку

- во-первых, при дальнейшей эволюции методик АНП будут также эволюционировать и допущения, заложенные в них, и при появлении методов следующего поколения эта база окажется не полной, а значит и не пригодной для них;

- во-вторых, выше было приведено обоснование утопичности идеи учета всех возможных факторов, влияющих на персонал; аналогично приходим к выводу о невозможности создания базы, содержащей абсолютно всю информацию о контексте, условиях выполнения и воздействиях на персонал.

Следует отметить, что методики определения вероятностей технических отказов оборудования, систем и комплексов для целей вероятностного анализа безопасности так же, как методики АНП, значительно разнятся как по допущениям/гипотезам, заложенным в них, так и по самим учитываемым явлениям. Однако анализ этих методик выходит за рамки данной статьи.

Рассматривая затронутый выше вопрос о базах данных, содержащих информацию по происшествиям с отказами оборудования и/или ошибочным действиям персонала, необходимо отметить, что в настоящий момент таких в Российской Федерации нет. Некоторыми аналогами такой базы могут служить архив во ВНИИ-АЭС, в котором содержатся отчеты комиссий о расследовании происшествий и база данных ОНИЦ «Прогноз», содержащая информацию по происшествиям, реализовавшимся из-за ошибок персонала.

Учет результатов тренировок оперативного персонала на полномасштабных тренажерах не ведется. В то время как эти данные могли бы существенно дополнить имеющуюся информацию о происшествиях, реализовавшихся из-за ошибок персонала, и тем более необходимы в условиях недостатка статистических данных.

Другим, и не менее важным вопросом является структурирование информации о происшествиях по признакам принадлежности к тому или иному типу отказа/ошибки. В качестве примера типов отказов для технических систем могут служить такие группирующие признаки происшествия как отказ электротехнического оборудования/элемента; отказ тепло-механического оборудования/элемента и др. Для ошибок персонала наиболее иллюстративны следующие типы ошибок: ошибка-промах («error of omission») или ошибка-заблуждение («error of commission»).

Выше указывались причины невозможности создания универсальной базы данных по происшествиям, реализовавшимся из-за ошибок персонала. Дополни-

ными доводами, приводящими к такому заключению, могут быть следующие. Пусть сегодня имеется база данных по ошибкам персонала, в которой вся информация разделена, например, по принадлежности к ошибкам мотивации и ошибкам промаха. Предположим, что через некоторое время будет необходимо (по разным причинам) выполнить структурирование этой информации по другим признакам (типам ошибок), например, ошибки диагностирования и ошибки исполнения. Для реализации этого мероприятия в лучшем случае потребуется большое количество человеко-часов работы квалифицированных специалистов, а в худшем, – задача будет выполнена со значительным искажением сути зафиксированных происшествий из-за недостатка информации в предшествующей базе данных для новой классификации.

Таким образом, для современных методов анализа надежности, в частности, АНП, существенна проблема приведения этих методик к единой идеологической структуре. Кроме того, не менее важны проблемы накопления статистических данных для анализов надежности в виде баз данных и проблемы структурирования в них статистических данных по признакам (типам). Все эти проблемы взаимосвязаны между собой и единственным решением может быть унификация методик на каждом этапе научно-технического развития и соответствующая унификация баз данных и признаков для группирования происшествий.

СПЕЦИФИКА МЕТОДОВ АНП, ОСНОВАННЫХ НА АНАЛИЗЕ СТАТИСТИКИ

Суть одного из критериев, которому не удовлетворяет ни одна из рассмотренных методик, для методов АНП содержит требование «понятности» самой методики и получаемых на выходе результатов для их конечных пользователей (т.е. в данном контексте – исполнителей ВАБ). Так, в деревьях отказов невозможно найти такие отказы-ошибки персонала как «ошибка мотивации». Таким образом получаем несоответствие, или в некотором роде бесполезность методики АНП, оперирующей и выдающей результаты в виде вероятностей ошибок мотивации и промаха.

Может быть более адекватна методика SPAR-H [6], использующая такие базовые ошибки как «ошибки диагностирования» и «ошибки исполнения». Однако, как быть при такой классификации (структурировании) ошибок с происшествиями, которые реализовались сугубо из-за того, что оператор не заметил сигнала, например, о закрытии быстродействующего запорно-отсечного клапана (БЗОК) на блоке с ВВЭР-1000? Отнесение этой ошибки к ошибке диагностирования в данном случае некорректно.

По мнению авторов этой статьи, наиболее адекватная и исчерпывающая классификация ошибок персонала может быть сделана при их разделении на следующие типы:

- ошибки считывания информации;
- ошибки диагностики состояния установки;
- ошибки принятия решений;
- ошибки действий, реализующих решения.

Следует отметить, что такая классификация наиболее соответствует потребностям исполнителей ВАБ и никоим образом не касается методов АНП, преследующих другие цели.

Распределение времени между ошибками для каждого выделенного типа ошибок скорее всего должно подчиняться распределению Вейбулла. Основанием для этого служит следующее соображение: представленные типы ошибок содержат в себе множество различных конкретных ошибок, причем эти ошибки повторяются редко и случайно. Таким образом, распределение времени между идентичными

ошибками в каждой группе описывается экспоненциальным распределением (2). Однако, поскольку в каждой группе выделенного типа ошибки содержится множество конкретных ошибочных действий, то распределение времени между ошибками данного типа будет описываться распределением Вейбулла, интерпретируемым как распределение экстремального значения (т.е. времени до ближайшей ошибки заданного типа).

Правомерность утверждения о том, что конкретные ошибки повторяются редко, может быть обоснована следующими доводами. При реализации какого-либо происшествия, в том числе с ошибками персонала, для исключения его повторения осуществляются корректирующие действия. В случаях, когда при реализации происшествия зафиксированы ошибки оперативного персонала, корректирующие меры, чаще всего, носят административный характер и выглядят как введение дополнительных пунктов в процедуры и инструкции, проведение тренировок по реализовавшемуся сценарию и т.д. Однако по прошествии некоторого времени персонал, который участвовал в происшествии либо увольняется, либо переходит на следующие ступени карьерной лестницы. Сменившие участников происшествия сотрудники, со временем начинают формально относиться к введенному в результате реализации ошибки пункту процедуры или сценарию тренировки, поскольку не придают им большого значения. Таким образом может происходить повторение ошибки.

Несколько специфичен вопрос об учете ошибок ремонтного персонала. Их можно было бы отнести к отказам оборудования так же, как ошибки проектировщиков (недостатки проекта). С другой стороны, ошибки ремонтного персонала – это все-таки ошибки персонала. Однако выделение в этой группе каких-либо типов ошибок крайне неэффективно, и потому представляется целесообразным не производить классификацию ошибок ремонтного персонала на типы, а учитывать их как самостоятельный монотип.

Необходимо отметить также, что параметры закона распределения времени между ошибками для представленной классификации ошибок, полученные на основании обработки статистических данных, уже должны учитывать в себе совокупность факторов, влияющих на персонал. Попытка же выделения из исходной статистикой информации данных о количестве, качестве и степени (величина коэффициента, соответствующего некоторому конкретному фактору) влияния факторов, воздействующих/влияющих на персонал, представляется бессмысленной. Эти мероприятия внесут лишь дополнительную неопределенность, причем дважды: в первый раз на этапе их выделения при обработке статистических данных, а во второй – при учете влияния этих факторов в процессе выполнения непосредственно анализа.

В дополнение к представленным доводам о бессмысленности учета факторов, влияющих на персонал, при получении данных о вероятности ошибки на основании статистических данных, рассмотрим следующие примеры. По описанию одного из инцидентов, в процессе выполнения переключений обходчик реакторного отделения ошибся помещением (примерно на 10 м), и воздействовал на арматуру работающей системы, хотя этого не следовало делать. В данном примере ошибка заключается, в частности, в том, что человек не обратил внимания на маркировку помещений и арматуры (т.е. ошибка считывания). При выполнении этих операций у обходчика было более чем достаточно времени для безошибочного действия. В другом примере, приведенном выше, когда оператор не заметил сигнала о закрытии БЗОК, времени было не так уж и много. Таким образом, результаты, полученные при обработке статистики этих и других происшествий уже со-

держат в себе усредненное по величине и качеству влияние фактора «наличие достаточного времени».

Удовлетворение неистового желания учесть все мыслимые факторы, влияющие на персонал, осложнено тем, что различные факторы по-разному влияют на разные типы ошибок. Например, фактор «стресс» может сильнее влиять на ошибки диагностики, чем на ошибки действий.

В заключение следует отметить необходимость создания унифицированных баз данных, содержащих статистику происшествий всех типов, будь то отказы оборудования или ошибки персонала. Причем при структурировании информации по типам происшествий необходимо сохранять и первичные источники, такие как, например, отчеты комиссий по расследованию происшествий. Что касается унификации методик АНП и анализа надежности техники, то это просто необходимо, но сложности, возникающие здесь, носят не столько технический, сколько конъюнктурный характер.

В качестве итога необходимо отметить, что здесь рассмотрены проблемные стороны современных методов АНП, нацеленных на получение результатов, используемых в ВАБ. Кроме того предложены пути решения этих вопросов с использованием статистических данных. В дополнение представлена возможная классификация ошибок персонала и рекомендации к сохранению необходимой информации при создании баз данных по происшествиям на АЭС, в которых зафиксированы ошибки персонала. Показана ошибочность пути развития методов АНП в сторону расширения перечня учитываемых факторов, влияющих на персонал.

Авторы благодарят профессора Ю.В. Швыряева за плодотворные дискуссии по затронутой здесь теме, которые помогли им убедиться в собственной правоте.

Литература

1. Швыряев Ю.В. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. – М.: ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1992.
2. Волков Ю.В. Обобщение понятия риска на случай времязависимых его компонентов // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2003. – № 2.
3. Волков Ю.В. Надежность и безопасность ЯЭУ: Учебн. пособие. – Обнинск: ИАТЭ, 1997.
4. IAEA-TECDOC-632, Вена, 1991.
5. Hollnagel E. Accident analysis and barrier function, IFE, ver.1 February 1999 // <http://www.it.uu.se/research/project/train/papers> (1.06.2008).
6. The SPAR-H Human Reliability Analysis Method, Idaho National Laboratory, NUREG/CR-6883, Washington 2005.
7. ATHEANA User's Guide. NUREG-1880, U.S. NRC, Washington, 2007.
8. Hollnagel E. Human Reliability Analysis, 2002 // http://www.ida.liu.se/~eriho/WhatIsHRA_M.htm (16.06.2008).
9. Boring R. Human Reliability Analysis Methods for Space Safety. NASA Risk Management Conference 2005. Session G: Human Error and Risk Assessment // <http://www.rmc.nasa.gov/presentations> (15.06.2008).
10. Petkov G. Retrospective Operators Performance Monitoring and Data-Mining / X Международная конф. «Безопасность АЭС и подготовка кадров»: Тез. докладов. Ч. 1. – Обнинск: ИАТЭ, 2007. – С. 133.
11. Анохин А.Н., Острейковский В.А. Вопросы эргономики в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 2001.

Поступила в редакцию 27.06.2008

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.5

Method for Analysis of Serviceability of the Measuring System and Software for VVER-1000 In-Core Monitoring \ R.R. Alyev, S.T. Leskin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 9 pages, 9 illustrations. – References, 2 titles.

A method is presented which makes it possible to estimate the serviceability of the measuring system for in-core monitoring. The method also enables comparing the power density distribution of the VVER-1000 reactor core obtained with different software, as well as detecting unreliable readings of the power density detectors and identifying the core abnormal conditions. The method is used for analyzing in-core monitoring data at Kalinin NPP. Unreliable readings of the measuring system have been detected. Comparison of different versions of the in-core monitoring software has also been performed.

УДК 621.039.58

Analysis of Recent Human Reliability Analysis Methods at Nuclear Technologies \ Yu.V. Volkov, A.V. Sobolev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages. – References, 11 titles.

In paper consider challenges of modern techniques for human reliability analysis. The fallacy of way to develop methods HRA towards expansions of a list considered performance shaping factors that influencing to personnel performance is shown. Questions of developing of databases on occurrences at the NPP to obtain, on the basis of analysis this information, parameters necessary for performance PRA are mentioned, and also recommendations to organization of such systems are given. Possible classification of operators or crew errors is presented.

УДК 621.039.5

Automated Geometric Characteristic Inspection System of Graphite EGP-6 Reactor \ A.I. Trofimov, S.I. Minin, M.G. Kalenishin, A.V. Nahabov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 4 pages, 5 illustrations. – References, 1 title.

The paper presents the automated geometric characteristic inspection system of graphite EGP-6 reactor. System structure and sensor information handling algorithm are described.

УДК 628.31

Sorbition Properties of New Type Alumosilicate Adsorbent \ A.S. Shilina, V.K. Milunchuk; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages, 5 illustrations, 1 table. – References, 5 titles.

The structure and sorbition properties of new type alumosilicate adsorbent was studied. The specific area of the surface sorbent is equal about 700 m²/g, the dimensions of sorbent particles is equal from 2 to 20 mkm, the filled density of the sorbent powder is equal 0.3 g/cm³. The sorbition capacity of the sorbent is equal by the cations (mg/g): calcium – 130, iron – 670, cobalt – 60, nickel – 100, lead – 40 and strontium – 300. The sorbition ability of sorbent keeps to 600°C.

УДК 621.039.524.5

Estimates of Lithium-6 and Helium-3 Nuclei Accumulation in Beryllium Blocks for the MIR Reactor Neutronic Analysis \ V.V. Kalygin, A.P. Malkov, V.V. Pimenov, A.B. Ovchinnikov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnich zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear power engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages, 5 illustrations. – References – 9 titles.

Neutron irradiation causes reactions in beryllium blocks of the MIR reactor core that leads to an accumulation of ³He and ⁶Li nuclei in them, which have a large thermal neutron capture cross-section. The accumulation of a neutron absorber in the reactor moderator leads to changes in the most important physical characteristics, i.e. reactivity margin, control rod worth, reactivity effects,