

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОБЛОКА АТОМНОЙ СТАНЦИИ

**А.В. Соболев\*, И.А. Тутнов\*\*, В.Ф. Украинцев\***

*\* Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ «МИФИ»  
249040, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, д. 1*

*\*\* НИЦ «Курчатовский институт»  
123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1*



Цель работы – формирование и обсуждение основных элементов методики получения количественных показателей надежности персонала по данным опыта фактической длительной эксплуатации конкретного энергоблока. Актуальность данной и подобных работ основана на простом суждении, что при проектировании энергоблоков АС в обосновании безопасности проекта используются показатели надежности персонала, в лучшем случае, аналогичных энергоблоков, а в худшем – из смежных отраслей, т.е. надежность персонала других промышленных объектов. Соответственно, полученные оценки безопасности относительно персонала не имеют никакого отношения к объекту, безопасность которого обосновывается. Поэтому необходимы методики и процедуры уточнения критериев безопасности с учетом опыта фактической эксплуатации, как минимум, по фактической надежности персонала энергоблока АС.

Приведены основные составляющие для формирования методики получения количественных показателей надежности персонала по данным опыта фактической длительной эксплуатации конкретного энергоблока. Даны рекомендации и пояснения к каждому основному элементу методики, в частности, приводятся информационная модель методики, основные индикаторы и другие составляющие. Поясняется актуальность разработки методики, позволяющей получать количественные показатели надежности на основании опыта эксплуатации конкретной АС.

Представлена дополнительная методика оценки безопасности ядерных энергетических установок. Предложены оригинальное понятийное определение надежности персонала атомной станции и методика обоснования гарантий безопасности энергоблоков с учетом аспектов человеческого фактора. Приводится информационная модель методики и перспектива ее применения для улучшения процедуры обоснования безопасности различных компонентов энергоблоков атомных станций.

В заключение приводятся пути дальнейшего развития предложенной методики, область ее использования и ожидаемый положительный эффект от ее применения.

**Ключевые слова:** надежность персонала, атомная станция, методика, опыт эксплуатации АС, информационная модель.

## ПРЕДПОСЫЛКИ

Безопасность атомной станции (АС) является одним из показателей, определяющих возможность будущего функционирования и экологическую приемлемость проектных технологий и конструкций при длительной эксплуатации ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Поэтому на этапе проектирования, сооружения, эксплуатации энергоблока АС вне зависимости от его типа и серийности выполняется многократная экспертиза обеспечения заданных критериев безопасности. В рамках главного процесса экспертизы и экспертного анализа проверяется тяжесть возможных последствий и уровень дефицита безопасности с учетом различных возможных сценариев зарождения и развития событий аварийного и разрушительного характера.

Одним из важных аспектов, определяющих безопасность и надежность функционирования АС, является подготовленность и компетентность обслуживающего персонала. В общем случае применения человеко-машинных высокоавтоматизированных комплексов управления безопасностью АС важно учитывать эффект человеческого фактора и возможность ошибочных действий персонала на всех этапах жизненного цикла АС. Если в отношении методик оценки и методов повышения надежности технических систем все более или менее благополучно, то с надежностью персонала ситуация гораздо хуже. Так, например, если в оборудовании реализация горячего резерва гарантированно повышает надежность системы, то реализация аналогичного принципа с персоналом далеко не всегда обеспечивает положительный эффект. Пока нет ясности и в оценке надежности персонала, а само понятие «надежность персонала» не так однозначно. В предположении, что набор необходимых функций персонала формируется в инструкциях для штатных режимов эксплуатации и проектных аварий, а также на основании компетенций для запроектных аварий, предлагается пока использовать следующее понятийное определение.

*Надежность персонала АС – способность работников выполнять своевременно, доброкачественно и в требуемом объеме необходимые рабочие процессы, технологии и функции, направленные на поддержание условий нормальной проектной эксплуатации АС, предотвращение и уменьшение рисков опасных и аварийных ситуаций, негативных для ядерной безопасности.*

В количественном эквиваленте надежность персонала характеризуется вероятностью безотказного и своевременного выполнения всех необходимых и реализуемых действий по поддержанию условий нормальной эксплуатации АС, предотвращению развития аварийных последовательностей и ограничению последствий аварий.

Сведения по количественным показателям надежности технических элементов получают по результатам испытаний производителя или сертифицированных центров; с помощью специальных моделей, позволяющих рассчитать надежность для единицы оборудования; с помощью экспертных опросов; по данным опыта эксплуатации в конкретных условиях применения. При этом количественные оценки, полученные с помощью перечисленных подходов, могут отличаться значительно, и наиболее предпочтительными являются значения, полученные на основании анализа опыта эксплуатации в конкретных условиях применения.

Количественные оценки надежности персонала можно получить по аналогии с оценками надежности оборудования ЯЭУ по результатам анализа итогов тренировок персонала на тренажерах в учебных центрах. Затем с помощью специальных моделей, позволяющих рассчитать надежность персонала, экспертных опросов или по данным опыта поведения персонала в период эксплуатации в конкретных ус-

ловиях работы, можно оценить вероятность ошибочных действий работников АС для заданных условий и обстоятельств. Здесь важно подчеркнуть, что (аналогично оборудованию) количественные оценки, полученные с помощью разных подходов, могут существенно различаться, и наиболее предпочтительными являются значения, полученные на основании анализа опыта эксплуатации в конкретных условиях работы. В условиях тренировок на тренажерах уровень эмоционального напряжения, осознание ответственности и тяжести последствий ошибки существенно иной в сравнении с выполнением функций персонала на конкретном рабочем месте.

На этапе проектирования и сооружения энергоблока трудно количественно оценить надежность персонала и, как следствие, показатели безопасности. Поэтому в соответствии с рекомендациями [1, 2] используются сведения из всех доступных источников, в том числе по надежности персонала аналогичных энергоблоков. В итоге возникает ситуация, когда безопасность энергоблока получена по данным о надежности стороннего персонала. Поэтому актуальными являются работы по разработке методик, позволяющих получать количественные показатели надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации конкретного энергоблока или АС. Использование количественных показателей надежности персонала, полученных с помощью таких методик, позволит получать оценки показателей безопасности, отражающие фактический уровень культуры безопасности на конкретном энергоблоке, качество производственной подготовки, рабочую атмосферу и множество других критериев, определяющих безопасность энергоблока в целом. Пересмотр общей методологии обоснования безопасности энергоблока АС с учетом фактической надежности персонала в будущем позволит обнаружить дефицит качества гарантий безопасности энергоблока АС, в том числе по критерию надежности персонала, и затем предпринять своевременные меры для улучшения ситуации в данной предметной области знаний.

### **МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПО ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА НА ОСНОВАНИИ ОПЫТА ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНКРЕТНОГО ЭНЕРГОБЛОКА ИЛИ АС В ЦЕЛОМ**

Оценка показателей надежности персонала при длительной эксплуатации конкретного энергоблока или АС в целом может быть реализована на основе оригинальной методики получения количественных показателей надежности персонала. Такая методика может включать в себя следующие основные составляющие:

- информационную модель методики;
- основные индикаторы и критерии качества поведения персонала на этапе эксплуатации энергоблока АС;
- правила формирования и матрицу исходных данных с их источниками верификации;
- набор вычислительных и экспертных алгоритмов, методов и инструментов для получения количественных оценок;
- алгоритмы и методы проверки качества и достоверности полученных результатов итоговой оценки.

#### **Основные индикаторы**

Основными индикаторами методики получения показателей надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации конкретного энергоблока могут служить следующие:

- перечень событий, важных для обоснования безопасности АС в аспекте надежности персонала;

- компетентность и уровень профессиональной подготовки персонала АС;
- вероятность ошибочных действий персонала в период нормальной эксплуатации;
- вероятность ошибочных действий персонала в период экстремальных ситуаций на этапе эксплуатации ЯЭУ, включая период эксплуатации с развитием событий разрушительного или пожароопасного характера.

Эти индикаторы определяют вектор обоснований и техническую политику АС в области безопасности и надежности, эффективности эксплуатации энергоблоков с учетом любых возможных влияний человеческого фактора на состояние безопасности и надежности работы АС. Эта политика должна быть построена таким образом, чтобы за качество и культуру безопасности АС отвечал конкретный исполнитель. Поэтому методика получения показателей надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации должна учитывать факторы персональной ответственности работника и его мотивации – материальные и моральные поощрения за качество обеспечения безопасности и за адекватность надежности оказываемых услуг.

**Информационная модель**



Рис. 1. Схема информационной модели методики

Полноценное и однозначное определение методики формируется из структуры ее информационной модели. Под информационной моделью понимается описание пошаговых действий в форме последовательности самостоятельных экспертных и отдельных измерительных, расчетных процедур, процедур аналитического и эк-

спертного анализа, верификации и валидации результатов обоснования безопасности энергоблока АС или их отдельных компонентов, а также условий декларирования полученных в данном обосновании результатов с учетом особого влияния человеческого фактора при эксплуатации АС на безопасность и надежность длительного функционирования энергоблока.

Информационная модель должна отражать вспомогательные процессы и процедуры сбора, анализа качества входных данных для практической реализации методики, а также состав методологических и расчетных алгоритмов, методов их обработки, алгоритмов и способов верификации получаемых результатов, допустимой области и ограничений использования этих результатов для обоснования безопасности будущей эксплуатации АС с учетом влияния человеческого фактора.

На рисунке 1 представлена упрощенная схема информационной модели методики получения показателей надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации энергоблока АС.

Для удобства практического применения модели она представлена в виде диаграммы Исикавы [3, 4]. В данном случае это инструмент, обеспечивающий системный подход к определению причинно-следственных факторов, влияющих на качество обоснования гарантий безопасного и надежного функционирования энергоблока АС. Информационная модель методики в форме диаграммы Исикавы в составе общей процедуры обоснования гарантий безопасного функционирования энергоблока АС приводится на рис. 2.



Рис. 2. Диаграмма Исикавы для информационной модели методики получения показателей надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации

### Исходные данные и их источники

Исходной информацией для формирования матрицы достоверных исходных данных для реализации указанной методики является фактические измерительные и экспертные итоговые результаты, которые формируются по мере накопления практического опыта эксплуатации АС, ее энергоблока. Исходная информация

должна в обязательном порядке подвергаться качественному и количественному анализу по критериям достоверности и возможным погрешностям. В рамках такого анализа выполняется отбор отдельных событий из исходных сведений опыта эксплуатации и их классификация. Формально эти процедуры должны быть разделены, но на практике их удобно совмещать в разрезе одного сетевого графика выполнения анализа безопасности энергоблока АС.

По результатам первичного качественного анализа должно приниматься решение о достаточности сведений опыта эксплуатации для получения количественных оценок требуемых показателей надежности персонала. В случае, если сведений недостаточно, то может быть выполнено слияние по классификационным признакам близких групп событий, которые имели место на действующих энергоблоках АС или иных объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), или по результатам имитационного моделирования поведения таких объектов.

### **Набор методов и инструментов для получения количественных оценок**

Целесообразно обозначить следующий выбор нескольких наиболее приемлемых с точки зрения интерпретации результатов оценок надежности персонала теоретических законов распределения показателей надежности оборудования и (или) персонала. Важным является обязательный выбор распределений экспоненциальной группы, т.е. имеющей частную форму экспоненциальной надежности, и верификационное обоснование принятых распределений с точки зрения заложенных в выбранные распределения априорных гипотез о природе случайного потока отказов персонала АС.

Основой данного этапа методики является процесс, который состоит в получении расчетных оценок параметров законов надежности по сведениям, ранее полученным из опыта эксплуатации. Следует выполнять расчет, как правило, не менее чем двумя верифицированными методами. Это позволит на практике не только получить с большей степенью достоверности оценки параметров – индикаторов методики получения показателей надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации, но и сравнить их между собой.

### **Методы первичной проверки полученных результатов**

Заключительный шаг методики получения показателей надежности заключается в первичном качественном экспертном анализе достоверности и приемлемости полученных результатов о надежности персонала АС. Суть этого шага – оценка соответствия полученных количественных показателей известным теоретическим закономерностям (проверка по статистическим критериям, сравнительный анализ полученных результатов, согласованность с теорией экстремальных параметров, теорией массового обслуживания и т.п.). Данный анализ позволяет оценить оправданность применения того или иного теоретического распределения показателей надежности персонала АС, выбрать для дальнейшего использования в обоснование гарантий безопасности и экологической приемлемости будущего функционирования энергоблока АС, наиболее оптимального с точки зрения статистических критериев качества. Кроме этого данный шаг позволяет выявить ошибки, допущенные на предыдущих этапах, и повысить качество полученных результатов оценки надежности персонала АС.

## **СПОСОБ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПЕРСОНАЛА**

Основная цель реализации данной методики – получение достоверной оценки надежности персонала. Практическая реализация этой методики открывает перспективу в будущем выполнить более полный анализ безопасности АС, отдельного энергоблока или реакторной установки с учетом фактической надежности персонала на базе учета

негативных и иных аспектов человеческого фактора на длительном периоде эксплуатации. Важным обстоятельством для реализации данной методики является отсутствие необходимости разработки всей структуры вероятностного анализа безопасности АС заново. Вполне достаточным может быть учет фактической надежности персонала в уже существующих моделях вероятностного анализа безопасности АС и соответствующей корректировки на основании результатов количественных оценок фактической надежности персонала в итоговых гарантиях показателей безопасности АС.

Реализация методики получения количественных показателей надежности персонала на основании опыта фактической длительной эксплуатации влечет за собой разрешение ряда важных вопросов, существенно влияющих на оцениваемые параметры и практику их использования в исследованиях безопасности АС. К таким аспектам (положениям) следует отнести

- классификацию сведений опыта эксплуатации и ошибок персонала;
- выбор закона надежности;
- методы получения количественных оценок;
- проверку результатов.

Классификация сведений опыта эксплуатации включает в себя в ряде случаев первичный качественный анализ данных опыта эксплуатации, например, на базе ранее созданных для этого методов. Естественным требованием к классификации ошибок персонала в период накопления опыта эксплуатации является их систематизация по возможным сценариям исходных причин, событий, а затем формальная интерпретация в направлении логичности использования данных о надежности персонала в исследованиях безопасности АС. Так, например, можно выделить ошибку типа «заблуждение» при определенных видах производственной деятельности работников АС. Однако такой тип ошибки персонала и вероятность ее реализации практически не применимы в формате обычно проводимых работ по обоснованию безопасности АС. Следует отметить, что разработка классификации с использованием современных подходов, например, аппарата кластерного анализа [5], здесь может дать положительный эффект. Например, в выделении признака, существенно влияющего на надежность персонала, или признаков, которые будут указывать на необходимость выделения отдельных классов (подклассов) при выполнении классификации.

Теоретический закон распределения вероятности ошибки персонала во времени (закон надежности) имеет не менее важное значение для качества результатов оценки надежности персонала, улучшения общей процедуры представления гарантий безопасности и экологической приемлемости будущего функционирования энергоблока АС. Одним из критериев применимости закона надежности в рамках обсуждаемой методики является его физическая интерпретируемость, что существенно сужает круг возможных распределений, приемлемых для реализации представленной методики на практике. Дополнительно следует указать, что выбор закона надежности коррелирует с необходимостью учета возможности существования доминирующих факторов в потоке ошибок персонала. Другими словами, если имеются основания считать, что в потоке ошибок персонала имеются доминирующие факторы, то использовать нормальное распределение следует с большой осторожностью. Наиболее приемлемым для описания случайных потоков происшествий на АС является распределение Вейбулла. Более подробно причины и доводы в пользу использования именно этого распределения приводятся в [6].

Чтобы избежать необоснованного выбора того или иного закона надежности в рамках методики целесообразно использовать как минимум два альтернативных закона. Эти законы могут нести в себе разные допущения о природе случайного потока ошибок (отказов), что позволит выполнить и анализ природы случайного потока.

Такой подход позволит повысить качество полученных оценок за счет их срав-

нительного анализа между собой.

Заключительный этап методики – проверка качества полученных оценок, в первую очередь, по критериям полноты и достоверности. Для такой проверки можно использовать широко известные статистические инструменты и закономерности, в частности, теорему Реньи [7]. Эта теорема утверждает, что по мере прореживания случайного потока событий исходный поток будет стремиться к стационарному пуассоновскому, т.е. распределение времени между событиями будет стремиться к экспоненциальному.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основании приобретенного опыта экспертизы промышленной, ядерной, радиационной, экологической безопасности сложных энергетических систем и комплексов, в том числе и ЯЭУ, с учетом влияния негативных аспектов человеческого фактора предложена информационная модель методики оценки показателей надежности персонала при длительной эксплуатации энергоблока атомной станции. Модель представлена в виде оригинальной диаграммы Исикавы (см. рис. 2). Такое представление обеспечивает возможность развития этой модели в направлении формирования инженерной структуры, информационных и инструментальных средств общей системы экспертизы безопасности энергоблоков АС, в том числе различных элементов оборудования, трубопроводных систем и т.д. Модель имеет перспективу для превентивного предотвращения возможных проектных инцидентов и аварий, исходным причинным событием которых является человеческий фактор. Смягчение фактов низкой компетенции и в целом надежности обслуживающего персонала АС на этапе выполнения обоснований и предоставления гарантий безопасности будущей эксплуатации энергоблоков АС, в том числе и за пределами назначенного в проекте ресурса, является перспективным направлением практического использования предлагаемой методики. В модели прежде всего остается системно-ориентированный подход к развитию потенциальных возможностей, обеспечению безопасности и надежности, эффективности работы персонала АС. В целом перспективная область применения данной модели включает в себя поиск ответа на важные вопросы совершенствования инженерных систем предупреждения технологических отказов, пожаров, функциональной защиты, в том числе аварийной и физической, от несанкционированных воздействий, а также вопросы совершенствования аппаратно-программных комплексов технической диагностики конструктивных элементов трубопроводных сетей, информационных систем оперативного управления состоянием безопасности энергоблоков АС.

Дополнительно необходимо отметить следующее. По мере накопления опыта практического применения методики будет необходима коррекция и улучшение нормативной базы в части ее валидации. Нельзя также забывать и вопросы профессиональной подготовки и переподготовки соответствующих специалистов для квалифицированного выполнения оценки надежности персонала АС. В настоящее время реализован полный цикл по улучшению исследовательского потенциала экспертизы надежности персонала АС и создан верифицированный оригинальный методический инструмент, который может быть востребован при проектировании ОИАЭ, в первую очередь, в части расчета безопасности и риска различных промышленных объектов энергетического комплекса страны с учетом различных аспектов человеческого фактора.

## **Литература**

1. РБ-100-15. Рекомендации по порядку выполнения анализа надежности систем и элементов атомных станций, важных для безопасности, и их функций. – М.: Госатомнадзор России, 2015. – 115 с.



2. ГОСТ 26291-84\*. Надежность атомных станций и их оборудования. – М.: Издательство стандартов, 2013. – 17 с.

3. Лобастов С. Ю. Построение диаграммы Исикавы для факторов влияния на мотивацию респондента онлайн-панели // Молодой ученый. – 2015. – № 14. – С. 693-697. Электронный ресурс: <https://moluch.ru/archive/94/21207/> (дата обращения: 10.09.2019).

4. Шеромова И.А., Янченко А.В. Причинно-следственный анализ эффективности разработки и реализации стратегии развития бренда. // Фундаментальные исследования. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 464-469.

5. Миркин Б. Г. Введение в анализ данных. – М.: Юрайт, 2016. – 174 с

6. Волков Ю.В., Самохин Д.С., Соболев А.В., Шкаровский А.Н. Разработка методов и оценка показателей надежности персонала по статистике инцидентов на АЭС РФ // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 4. – С. 15-24.

7. Лапатын И.Л., Назаров А.А. Характеристики марковских систем массового обслуживания при асимптотически пуассоновских входящих потоках // Вестник Томского государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – №3 (16). – С. 24-30.

Поступила в редакцию 17.09.2019 г.

#### Авторы

Соболев Артем Владимирович, старший преподаватель  
E-mail: [sobolevartem82@gmail.com](mailto:sobolevartem82@gmail.com)

Тутнов Игорь Александрович, в.н.с., профессор, д-р. техн. наук  
E-mail: [andt@mail.ru](mailto:andt@mail.ru)

Украинцев Владимир Фёдорович, доцент, канд. физ.-мат. наук  
E-mail: [ukraintsev@mail.ru](mailto:ukraintsev@mail.ru)

UDC 621.039.58

## ESTIMATION OF THE PERSONNEL RELIABILITY INDICATORS DURING LONG-TERM OPERATION OF A NUCLEAR POWER PLANT UNIT

Sobolev A.V. \*, Tutnov I.A. \*\*, Ukraintsev V.F. \*

\* Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, NRNU «MEPhI»  
1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga reg., 249040 Russia

\*\* NRC «Kurchatov Institute»

1 Akademika Kurchatova Sq., Moscow, 123182 Russia,

#### ABSTRACT

The purpose of the study is to form and discuss the key components of the methodology to obtain the quantitative indicators of the personnel reliability based on the actual long-term operation experience data for a particular power unit. The timeliness of this study and of similar works is based on a simple assertion that the safety of the nuclear unit designs is justified using the personnel reliability indicators, in the best case, for comparable units, and, in the worst case, from related industries, that is, the reliability of the personnel at other industrial facilities. Accordingly, the obtained safety estimates with respect to personnel have nothing to do with the facility the safety of which is justified. Therefore, methods and procedures are required to update the safety criteria with regard for the actual operation experience, as a minimum, based on the actual reliability of the NPP unit personnel.

The key components are presented for shaping the methodology to obtain the quantitative indicators of the personnel reliability based on the long-term actual operation experience data for the power unit. Recommendations and explanations are provided for each of the methodology's key components; in particular, an information model of the methodology, the key indicators and other components are presented. The timeliness of the methodology development is explained, which makes it possible to obtain quantitative reliability indicators based on the NPP operation experience.

An additional methodology is presented for assessing the safety of nuclear power plants. A unique notional definition of the nuclear plant personnel reliability and the procedure to justify the power unit safeguards with regard for the human factor aspects are proposed. An information model of the methodology is provided and the prospects are described for this to be used to improve the safety justification procedures for various components of the nuclear plant units.

To conclude with, ways are presented for the further evolution of the proposed methodology, and the scope of the methodology and the expected positive effect from its application are described.

**Key words:** personnel reliability, nuclear power plant, methodology, NPP operation experience, information model.

#### REFERENCES

1. RB-100-15 *Recommendations for Order Fulfillment Reliability Analysis to Nuclear Power Plants Systems and Components Important to Safety and their Functions*. Moscow. Gosatomnadzor Publ., 2015. 115 p. (in Russian).
2. GOST 26291-84\* *Reliability of Atomic Power Stations and their Equipment. General Statements and Reliability Index Nomenclature*. Moscow. Standards Publ., 2013. 17 p. (in Russian).
3. Lobastov S.Yu. Construction Ishikawa Diagrams for Motivation Influence Factors on the Online Respondent Panel. *Molodoy Uchyonyj*. 2015, no. 14. pp 693-697. Available at: <https://moluch.ru/archive/94/21207/> (accessed Sep 10, 2019) (in Russian).
4. Sheromova I.A., Yanchenko A.V. Causal Effectiveness Analysis to Development and Implementation Brand Development Strategy. *Fundamental'nyye Issledovaniya*. 2017, v. 8, no. 2, pp. 464-469 (in Russian).
5. Mirkin B. G. *Introduction to Data Analysis*. Moscow. Yurajt Publ., 2016. 174 p. (in Russian).
6. Volkov Yu.V., Samokhin D.S., Sobolev A.V., Shkarovskiy A.N. Methods development and assessment of personnel reliability indicators for incident statistics at nuclear power plants of the Russian Federation. *Izvestia Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy. Yadernaya Energetika*. 2008, no. 4, pp. 15-24 (in Russian).
7. Lapatin I.L., Nazarov A.A. Characteristics of Markov queuing systems for asymptotically Poisson incoming flows. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ser: Upravleniye, Vychislitel'naya Tekhnika i Informatika*. 2011, no. 3 (16), pp. 24-30 (in Russian).

#### Авторы

Sobolev Artem Vladimirovich, Senior Lecturer

E-mail: SobolevArtem82@gmail.com

Tutnov Igor Aleksandrovich, Chief Scientist, Professor, Dr. Sci. (Engineering)

E-mail: andt@mail.ru

Ukraintsev Vladimir Fedorovich, Assistant Professor, Cand. Sci. (Phys.-Math.)

E-mail: ukraintsev@mail.ru