

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

С. В. Васильева¹, О. В. Коновалова², А. М. Панкин³,
И. А. Тутнов⁴, А. В. Соболев⁵, В. С. Царев⁶

¹ Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований, Москва, Россия

² Фонд поддержки научно-технического развития «Наукоемкие технологии», Москва, Россия

³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

^{4, 6} Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, Россия

⁵ Обнинский институт атомной энергетики Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Россия

¹ S218a@mail.ru, ^{2, 4} office@energodiagnostika.ru, ³ alpank@niti.ru,

⁵ sobolevartem82@gmail.com, ⁶ Tsarev_VS@nrcki.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Приоритетная идея управления техногенными рисками опасных энергетических объектов РФ на основе измерительной диагностической информации заключается в формировании различных видов деятельности по научному обоснованию и инструментальному обеспечению допустимости производственных состояний и рисков, текущей функциональной безопасности и эксплуатационной надежности, экологической приемлемости объектов, производственных технологий, инженерных систем, сетей и сооружений, в первую очередь оборудования АЭС, нефтяной и газовой промышленности по их фактическому техническому состоянию. *Материалы и методы.* В период длительной эксплуатации указанного оборудования отличительной особенностью современной методологии управления рисками эксплуатации опасных производственных объектов является стремление к использованию перспективных методов оценок возможных опасностей на основе имитационного моделирования событий разрушительного и пожароопасного характера, процессов деградации служебных свойств, а также вероятностного прогнозирования момента перехода конкретного вида оборудования или его конструкции в критическое состояние и последующего разрушения. *Результаты.* Показан состав информационной модели системы управления техногенными рисками потенциально опасных объектов на базе риск-ориентированной интегральной оценки техногенной безопасности и экономической выгоды. Представлена позитивная перспектива управления техногенными рисками объектов энергетического комплекса при формировании программ их технического обслуживания и ремонта с учетом измерительной диагностической информации о контролируемых объектах. *Вывод.* Предложения по системному улучшению качества управления техногенными рисками энергетических опасных объектов ТЭК обладают определенными технико-экономическими преимуществами, а именно: научно обоснованной оптимизацией затрат на все мероприятия по управлению рисками промышленного функционирования энергетического объекта при его длительной эксплуатации; возможность эволюционного развития системы диагностирования и прогнозной оценки риска; возможность дальнейшего развития системы культуры безопасности эксплуатации энергетического объекта.

Ключевые слова: ядерная безопасность, риск, диагностика, ядерный объект, информационная модель, инструментальное и информационное обеспечение, технологический и производственный процессы, имитационное моделирование

Для цитирования: Васильева С. В., Коновалова О. В., Панкин А. М., Тутнов И. А., Соболев А. В., Царев В. С. Управление рисками энергетических ядерных объектов топливно-энергетического комплекса на основе измерительной диагностики их технического состояния // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 1. С. 114–122. doi:10.21685/2307-4205-2021-1-11

RISK MANAGEMENT OF NUCLEAR POWER FACILITIES IN THE FUEL AND ENERGY COMPLEX BASED ON MEASUREMENT DIAGNOSTICS THEIR TECHNICAL CONDITION

**S.V. Vasil'eva¹, O.V. Konovalova², A.M. Pankin³,
I.A. Tutnov⁴, A.V. Sobolev⁵, V.S. Tsarev⁶**

¹ Trinity Institute for Innovative and Fusion Research, Moscow, Russia

² Foundation for Support of Scientific and Technical Development "High Technologies", Moscow, Russia

³ Saint-Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great, Saint-Petersburg, Russia

^{4,6} National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

⁵ Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering MEPhI, Obninsk, Russia

¹ S218a@mail.ru, ^{2,4} office@energodiagnostika.ru, ³ alpank@niti.ru,

⁵ sobolevartem82@gmail.com, ⁶ Tsarev_VS@nrcki.ru

Abstract. *Background.* The priority idea of managing technogenic risks of hazardous energy facilities of the Russian Federation on the basis of measuring diagnostic information is to form various activities for scientific substantiation and instrumental support of the admissibility of production conditions and risks, current functional safety and operational reliability, environmental acceptability of facilities, production technologies, engineering systems, networks and structures, primarily equipment for nuclear power plants, oil and gas industry according to their actual technical condition. *Materials and methods.* During the period of long-term operation of the specified equipment, a distinctive feature of the modern risk management methodology for the operation of hazardous production facilities is the desire to use promising methods for assessing possible hazards based on the simulation of destructive and fire hazardous events, degradation processes of service properties, as well as probabilistic forecasting of the moment of transition of a specific type of equipment or its structure in critical condition and subsequent destruction. *Results.* The composition of the information model of the management system for man-made risks of potentially hazardous objects based on risk-oriented integral assessment of man-made safety and economic benefits is shown. The article presents a positive perspective for managing technogenic risks of energy complex objects when developing programs for their maintenance and repair, taking into account measuring diagnostic information about controlled objects. *Conclusion.* Proposals for the systematic improvement of the quality of man-made risk management at hazardous energy facilities in the fuel and energy complex have certain technical and economic advantages, namely: scientifically grounded optimization of costs for all measures to manage risks of industrial operation of a power facility during its long-term operation; the possibility of evolutionary development of the system for diagnosing and predictive risk assessment; the possibility of further development of the safety culture system for the operation of an energy facility.

Keywords: nuclear safety, risk, diagnostics, nuclear facility, information model, instrumental and information support, technological and production processes, simulation

For citation: Vasil'eva S.V., Konovalova O.V., Pankin A.M., Tutnov I.A., Sobolev A.V., Tsarev V.S. Risk management of nuclear power facilities in the fuel and energy complex based on measurement diagnostics their technical condition. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems*. 2021;1:114–122. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2021-1-11

Современные тенденции развития технологий обеспечения безопасности сложных технических систем и сооружений указывают на новые научные направления, которые определяют актуальность постоянного развития культуры безопасной эксплуатации потенциально опасных производственных объектов [1, 2], в частности объектов атомной энергетики РФ. В связи с этим появилась существенная необходимость на основе физико-технологических положений непрерывного диагностического мониторинга технического состояния ответственного энергетического оборудования промышленных предприятий ТЭК приступить к новому переосмыслению существующего способа понимания и трактовки опасных явлений и событий разрушительного и пожароопасного характера при управлении техногенными рисками потенциально опасных ядерных объектов ТЭК.

Приоритетная идея управления техногенными рисками опасных энергетических объектов РФ на основе измерительной диагностической информации заключается в формировании различных видов деятельности по научному обоснованию и инструментальному обеспечению допустимости

производственных состояний и рисков, текущей функциональной безопасности и эксплуатационной надежности, экологической приемлемости объектов, производственных технологий, инженерных систем, сетей и сооружений по их фактическому техническому состоянию. В период длительной эксплуатации указанного оборудования отличительной особенностью современной методологии управления рисками эксплуатации опасных производственных объектов является стремление к использованию перспективных методов оценок возможных опасностей на основе имитационного моделирования событий разрушительного и пожароопасного характера, процессов деградации служебных свойств, а также вероятностного прогнозирования момента перехода конкретного вида оборудования или его конструкции в критическое состояние и последующего разрушения. Поэтому необходимость постоянного улучшения культуры безопасной эксплуатации различных объектов и сооружений ТЭК для текущего периода и будущего представляется актуальной.

Формирование системы культуры безопасности энергетических комплексов и сооружений ТЭК предполагает определить понятийное определение термина «Культура безопасности эксплуатации». Применение понятий «Культура безопасности» для выявления и анализа техногенных опасностей впервые было выполнено международным агентством по атомной энергии МАГАТЭ в 1986 г. для анализа причин, исходных событий и последствий аварии на Чернобыльской АЭС [3]. Для текущего момента многими экспертами в общем случае «Культура безопасности» для этапа эксплуатации потенциально опасных объектов трактуется как общее состояние технического развития производственного объекта, интегрируемое с деятельностью человека, менеджмента и администрации, в целом общества. Критериями качества этой деятельности являются индикаторные характеристики надежности энергетической техники, надежности работников и их отношения к вопросам обеспечения безопасной жизни, охраны труда, экономически оправданной практической производственной деятельности по снижению уровня опасности для окружающего мира. Обобщая многочисленные понятийные определения «Культура безопасности», можно для нашего случая уточнить это определение. Культура безопасности эксплуатации объекта ТЭК – квалификационная, психологическая подготовленность всех лиц, инструментальное и информационное обеспечение всех технологических и производственных процессов, организационно-инженерная система производственной деятельности, при которой обеспечение промышленной безопасности и экологической приемлемости текущего и будущего функционирования этого объекта является приоритетной целью и внутренней потребностью, приводящей к самосознанию ответственности и к самоконтролю при выполнении всех работ.

Следующим важным этапом становления организационно-инженерной системы управления техногенными рисками потенциально опасных объектов ТЭК на основе измерительной диагностической информации эксплуатационного мониторинга их технического состояния является определение и обоснование базовых принципов формирования такой системы. Эти базовые принципы могут быть сформулированы, исходя из того, что количественная величина риска, вероятности наступления события отказа, аварии или иной чрезвычайной ситуации на объектах энергетического ядерного комплекса никогда не может быть уменьшена до нуля. До недавнего времени, несмотря на применение принципа соразмерности регулирующего воздействия, для управления рисками функционирования объектов имеются ограничения, которые обусловлены положениями федерального закона¹. Эти ограничения устанавливают для всех видов технического надзора за безопасностью объектов ТЭК единую интенсивность контрольных и надзорных мероприятий, которым со всей очевидностью предшествовали процессы эксплуатационного мониторинга и диагностического прогнозирования ожидаемых и возможных опасностей, рисков будущей эксплуатации опасных энергетических объектов. В текущий период появилась инициатива при диагностировании предполагаемых опасных событий разрушительного и пожароопасного характера учитывать фактическое техническое состояние энергетического объекта, степень тяжести возможных опасностей, частоты их проявления, трудности превентивного предупреждения и преодоления, вероятность несоблюдения персоналом объекта обязательных требований безопасности и многое другое. Этому способствовало появление в атомной энергетике стратегии перехода с технического обслуживания и ремонта основного оборудования АЭС по регламенту на техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию. Концепция этой стратегии была принята в атомной энергетике в начале 2000-х гг. [4].

¹ О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля : федер. закон № 294-ФЗ от 26 декабря 2008 г.

В соответствии с ней на всех АЭС РФ, в том числе и на строящихся, создавались отделы технического диагностирования, которые должны развивать алгоритмы диагностирования особо ответственного оборудования станции и в первую очередь потенциально опасного для персонала и окружающего населения. К этому следует отнести и перспективу внедрения риск-ориентированного подхода при организации практических работ на потенциально опасных объектах, в первую очередь по техническому обслуживанию и предупредительному ремонту [5].

В зависимости от принимаемой концепции оценки риска можно разделить перспективу внедрения риск-ориентированного подхода на применение статической и динамической модели (рис. 1).

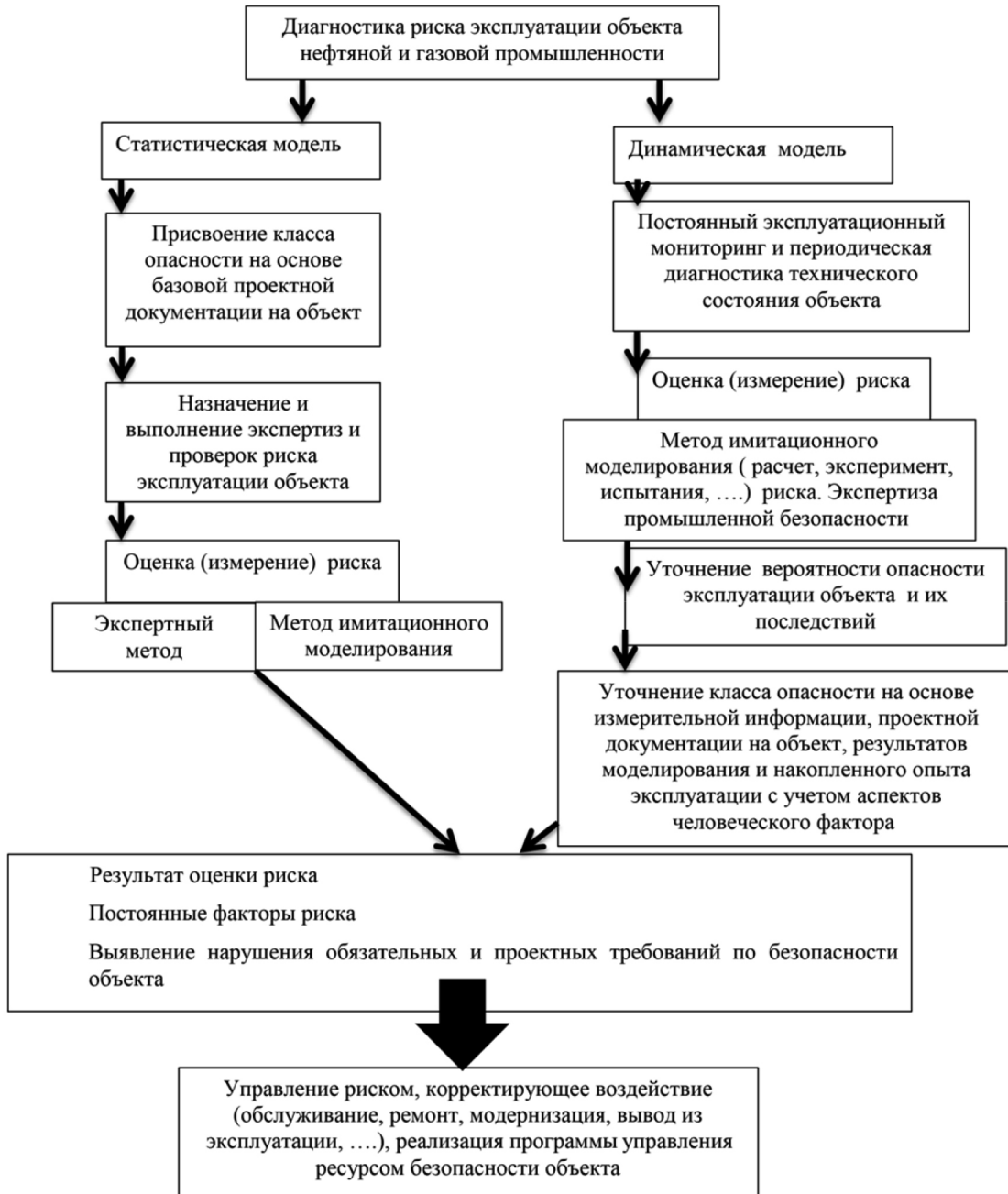


Рис. 1. Иллюстрация концепции риск-ориентированного подхода для обоснования гарантий безопасности текущей и будущей эксплуатации объектов ТЭК

Динамическая модель оценки риска предусматривает проведение диагностических измерений фактического технического состояния объекта и изменение категории риска в зависимости от выявленных фактов нарушений обязательных требований и имевших место случаев причинения вреда.

Статическая модель такой возможности не предусматривает. В общем случае при инструментальном развитии комплексной системы риск-ориентированного подхода оценки безопасности будущего функционирования объекта ТЭК, в первую очередь для этапа эксплуатации, должны быть созданы позитивные условия и приняты превентивные меры, гарантирующие, что последствия любого события разрушительного и пожароопасного характера, чрезвычайной ситуации, аварии или инцидента на любом энергетическом объекте будут ограниченными. При этом ущерб от этих последствий может быть значительным, но приемлемым по общим социальным критериям и пределам безопасности жизнедеятельности населения страны, региона. Поэтому при формировании и развитии комплексной системы риск-ориентированного подхода к оценкам промышленной и экологической безопасности объектов энергетического комплекса требуется особый осознанный анализ качества и приемлемости пределов техногенного риска, достоверности исходной информации для различных оценок функциональной безопасности и надежности, экологической приемлемости условий эксплуатации любых объектов. Это касается в первую очередь точности исходных данных и методик (методов, алгоритмов), важных для оценок возможностей принять приемлемым достигнутое качество условий эксплуатации и уровней риска, особенно в разрезе достоверности результатов оценок вероятности реализации угроз и нанесения вреда здоровью, гибели людей. Это также касается способностей и возможностей для точного выявления существенного ущерба в период промышленной эксплуатации объектов ТЭК. Все это тесно связано с таким понятием, как культура безопасной эксплуатации, которое еще только находится на начальной стадии своего становления, хотя уже широко и эффективно используется [2, 6].

В нашем случае качество и культуру безопасности эксплуатации объектов ТЭК пока следует определять как набор индикаторных служебных характеристик и особенностей производственной деятельности организации, которая эксплуатирует объект. При этом данный набор предполагает учет и контроль поведения, результатов деятельности отдельных лиц, принимающих решения в области безопасности, охраны труда и т.д. Со всей очевидностью, содержание общей концепции «Культура безопасности эксплуатации» сложных систем и сооружений энергетических объектов ТЭК выходит за рамки эксплуатационной деятельности любой энергетической системы или комплекса. Эта концепция обычно охватывает все процессы для всех стадий жизненного цикла потенциально опасного энергетического объекта, которые могут оказать влияние на безопасную жизнедеятельность. Концепция культуры безопасности эксплуатации промышленных сооружений и объектов ТЭК обязана охватывать разные сферы управления состоянием функциональной безопасности, в том числе законодательную, регулирующую, технологическую, экономическую и др. Все эти сферы устанавливают обязательное условие: для проектного функционирования опасных промышленных объектов и сооружений ТЭК должны быть представлены необходимые обоснования и точные гарантии безопасности и эксплуатационной надежности. Концепция культуры безопасности эксплуатации сооружений объектов ТЭК является одним из важных аспектов управления техногенными рисками потенциально опасных объектов на основе измерительной информации эксплуатационного мониторинга и прогнозирования изменения их технического состояния. Вместе с этим все сферы управления состоянием защищенности от возможных аварий и общая система культуры безопасности эксплуатации связаны с проявлением определенных обстоятельств, обусловленных человеческим фактором. На основе вышесказанного применительно к условиям управления техногенными рисками потенциально опасных энергетических объектов ТЭК можно выделить, по крайней мере, следующие базовые составляющие:

1. Правильное проектирование, создание, промышленная эксплуатация и прекращение эксплуатации объектов или инженерных технологических систем объектов ТЭК, а также реабилитация территорий, на которых был размещен объект или энергетический комплекс. Для правильного и качественного осуществления этих видов деятельности важно отдельно для каждого этапа жизненного цикла объекта определить критерии и пределы риска в индикаторах вероятности приемлемого, надежного и безаварийного их функционирования в составе всей производственной инфраструктуры производственных компонентов конкретного энергетического комплекса.

2. Создание необходимой интегральной инженерно-организационной и экономической системы планирования и реализации мер превентивного и текущего управления природными и техногенными явлениями разрушительного и пожароопасного характера, сопровождающимися значительным ущербом как для организации, эксплуатирующей объект или комплекс, так и для потребителей

энергии. Эта система должна включать реализацию возможности диагностического мониторинга возможных опасностей и управление рисками технологических процессов, и практического производственного использования объектов или комплексов.

3. Создание систем диагностирования для оценки технического состояния сложных технических объектов в процессе их эксплуатации [5, 6].

Суть организационно-инженерной системы культуры безопасности эксплуатации энергетических объектов ТЭК заключается в гарантированном обеспечении комфортной жизнедеятельности для рабочего персонала, населения, потребителей энергии, а также сохранения окружающей среды на всех этапах создания, строительства, монтажа и эксплуатации сооружений, оборудования и инженерных систем и различных объектов ТЭК, вплоть до вывода их из эксплуатации и реабилитации территорий. В общем случае культура безопасности эксплуатации есть свод верифицированных гарантий, что все делается правильно и соответствует принятым правилам, нормам, критериям промышленной, радиационной и экологической, ядерной безопасности. Культура безопасности эксплуатации – это также уверенность в том, что эти гарантии получены на основе правильно выполненных комплексных инженерно-диагностических обследований и диагностических прогнозов состояния функциональной безопасности объектов. Это означает, например, что правильно доказана функциональная прочность, надежность конструктивных компонентов объектов или комплексов, их инженерных систем, сетей, сооружений, безопасность технологических процессов. Культура безопасности эксплуатации есть уверенность в том, что имеет место разумная защищенность не только персонала объектов ТЭК, в том числе строителей, монтажников и эксплуатационников, но и всего населения региона или близлежащих территорий.

Для персонала общая система культуры безопасности эксплуатации состоит из нескольких базовых составляющих, которые поясняет информационная модель на рис. 2. Важный аспект культуры безопасности эксплуатации объектов – это знания, опыт и компетентность лиц, которые являются ответственными за техническое состояние и риски безопасности при проектировании, создании и эксплуатации потенциально опасных энергетических объектов. Культура безопасности эксплуатации в первую очередь есть качество эксплуатации и квалификационная, профессиональная пригодность, подготовленность и успешное владение трудовыми навыками всех лиц, целевая производственная деятельность которых – это обеспечение функциональной безопасности, системной надежности и экологической приемлемости объектов и комплексов. Поэтому одним из главных принципов для постоянного развития потенциала и культуры безопасности эксплуатации энергетических объектов ТЭК является принцип управления качеством эксплуатации и проектной документации объектов и инженерных систем [5, 6]. Реализация этого принципа на практике в свою очередь требует определить критерии риска эксплуатации, в том числе критерий качества нормативного и методического сопровождения и точности оценок технического состояния и промышленной безопасности. Этот критерий должен рассматривать во всех направлениях при осуществлении промышленной деятельности энергетического объекта, но в первую очередь это касается измерений и оценок системной надежности и устойчивости к противодействию возможным авариям. Также этот критерий должен в общем виде обеспечить возможность правильного выбора физического явления и информативных параметров, дающих наиболее объективную измерительную информацию о составляющих риска и достигнутого уровня промышленной, радиационной и экологической, ядерной безопасности. Поэтому важно уточнить, что одним из основных принципов формирования и развития комплексной системы культуры безопасности эксплуатации энергетических объектов ТЭК является принцип верифицированного выбора физического явления и апробации информативных параметров, дающих наиболее объективную информацию о составляющих, факторах риска и безаварийности эксплуатации конкретного производственного объекта. Другим важным принципом здесь будет безусловное обеспечение целенаправленного на постоянной основе мониторинга составляющих риска, с которыми сталкивается организация, эксплуатирующая энергетические объекты ТЭК. Вместе с этими основными принципами формирования и развития комплексной системы управления техногенными рисками потенциально опасных энергетических объектов на основе измерительной информации эксплуатационного диагностического мониторинга и прогнозирования их технического состояния на общей платформе парадигмы культуры безопасности сложных технических систем и сооружений следует предложить следующие рабочие, функциональные принципы:

– принцип достоверной оценки вероятности возникновения той или иной неблагоприятной ситуации в условиях эксплуатации и негативных последствий (возможного ущерба), так называемый принцип адекватности;

- принцип верифицированного формирования и затем постоянного обновления инструментальных (информационных, технических, измерительных и пр.) средств мониторинга, прогнозирования и управления риском эксплуатации объекта или комплекса;
- принцип правильного установления пределов социально приемлемых рисков и приемлемой платы (допустимого ущерба, компенсации) за проектные пределы рисков, которые будут приняты организацией, эксплуатирующей объект или комплекс;
- принцип достижения технической возможности и практической осуществимости эксплуатационного мониторинга за тем, чтобы принятые лимитные показатели риска эксплуатации объектов или комплексов находились в пределах обоснованных индикаторов запретов и ограничений;
- принцип обязательного соответствия текущего состояния принятым критериям промышленной безопасности и индикаторам социально допустимого риска;
- принцип постоянного уточнения и выработки новых практических рекомендаций по формированию стратегии внутрифирменного стратегического планирования культуры безопасности эксплуатации энергетических объектов ТЭК на основе научно-технического прогресса;
- принцип эффективного распределения ресурсов эксплуатирующей объект или комплекс организации для превентивного противодействия угрозам аварий и инцидентов с учетом степени риска (принцип совместимости) для конечных потребителей услуг (рис. 2).



Рис. 2. Основные составляющие информационной модели культуры безопасности эксплуатации объекта нефтегазового сектора ТЭК

Таким образом, могут быть определены основные базовые принципы формирования и развития комплексной системы управления техногенными рисками потенциально опасных энергетических объектов ТЭК на основе измерительной диагностической информации об их техническом состоянии. Эти принципы представляют концептуальную основу для формирования перспективы управления техногенными рисками опасных объектов в аспектах их культуры безопасности. Сущность этой перспективы – возможность динамического управления ресурсом и безопасностью будущей промышленной эксплуатации энергетического объекта ТЭК с учетом его фактического состояния.

Заключение

Предложения по системному улучшению качества управления техногенными рисками энергетических опасных объектов ТЭК в аспектах их культуры безопасности на основе измерительной диагностической информации эксплуатационного мониторинга и прогнозирования их технического состояния обладают определенными технико-экономическими преимуществами, а именно:

- научно обоснованная оптимизация временных и материальных, финансовых затрат на все мероприятия по управлению рисками промышленного функционирования энергетического объекта при его длительной эксплуатации за счет использования имеющейся дифференциации опасностей по их потенциально ожидаемому ущербу для окружающего мира, собственников объекта и персонала;
- возможность эволюционного развития системы диагностирования и прогнозной оценки риска с постепенным повышением уровня ее гибкости за счет дополнения используемых критериев и учета различных динамических факторов опасностей;
- возможность дальнейшего развития системы культуры безопасности эксплуатации энергетического объекта за счет внедрения современных научно обоснованных подходов оценок риска будущей эксплуатации промышленных энергетических систем и комплексов.

Список литературы

1. Кузнецов В. Н. Культура безопасности: социологическое исследование : монография. М. : Наука, 2001. 318 с.
2. Махутов Н. А., Тутнов И. А., Фролов К. В. [и др.]. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных систем, систем связи и коммуникаций. М. : Знание, 1998. Ч. 1. 488 с.
3. URL: www.iaea.org
4. Хамаза А. А. Риск ориентированный подход в регулирующей деятельности в области ядерной и радиационной безопасности // Радиация и риск. 2015. Т. 24, № 4. С. 87–97.
5. Панкин А. М. Об основных понятиях технической диагностики // Контроль. Диагностика. 2010. № 10. С. 38–45.
6. Власов С. В., Степанов В. В., Тутнов И. А. Промышленная безопасность трубопроводов воды и пара высокого давления : монография. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 210 с.

References

1. Kuznetsov V.N. *Kul'tura bezopasnosti: sotsiologicheskoe issledovanie: monografiya* = Culture of safety: a sociological study: a monograph. Moscow: Nauka, 2001:318. (In Russ.)
2. Makhutov N.A., Tutnov I.A., Frolov K.V. [et al.]. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tehnicheskie aspekty. Funktsionirovanie i razvitie slozhnykh narodnokhozyaystvennykh sistem, sistem svyazi i kommunikatsiy* = Security of Russia. Legal, socio-economic, scientific and technical aspects. Functioning and development of complex national economic systems, communication and communication systems. Moscow: Znanie, 1998;1:488. (In Russ.)
3. Available at: www.iaea.org
4. Khamaza A.A. Risk-based approach in regulatory activities in the field of nuclear and radiation safety. *Radiatsiya i risk* = Radiation and risk. 2015;24(4):87–97. (In Russ.)
5. Pankin A.M. About the basic concepts of technical diagnostics. *Kontrol'. Diagnostika* = Control. Diagnostics. 2010;10:38–45. (In Russ.)
6. Vlasov S.V., Stepanov V.V., Tutnov I.A. *Promyshlennaya bezopasnost' truboprovodov vody i para vysokogo davleniya: monografiya* = Industrial safety of high-pressure water and steam pipelines : monograph. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2012:210. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Светлана Валерьевна Васильева

руководитель проекта,
Государственный научный центр
Российской Федерации
Троицкий институт инновационных
и термоядерных исследований
(Россия, г. Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, 12)
E-mail: S218a@mail.ru

Ольга Владимировна Коновалова

директор,
Фонд поддержки научно-технического развития
«Наукоемкие технологии»
(Россия, г. Москва, ул. Кржижановского, 21/33, к. 1)
E-mail: office@energodiagnostika.ru

Александр Михайлович Панкин

доктор технических наук, доцент высшей школы
«Атомная и тепловая энергетика»,
Санкт-Петербургского политехнического
университета Петра Великого,
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)
E-mail: alpank@niti.ru

Игорь Александрович Тутнов

доктор технических наук, профессор,
начальник лаборатории,
Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»
(Россия, г. Москва, пл. акад. Курчатова 1)
E-mail: office@energodiagnostika.ru

Артем Владимирович Соболев

старший преподаватель,
кафедра атомных станций,
Обнинский институт атомной энергетики
Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ»
(Россия, Калужская обл., г. Обнинск,
тер. Студгородок, 1)
E-mail: sobolevartem82@gmail.com

Владимир Сергеевич Царев

научный сотрудник,
Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»
(Россия, г. Москва, пл. акад. Курчатова, 1)
E-mail: Tsarev_VS@nrcki.ru

Svetlana V. Vasilyeva

Project manager,
State Scientific Center of the Russian Federation Trini-
ty Institute for Innovative and Fusion Research (12
Pushkovykh street, Troitsk, Moscow, Russia)

Olga V. Konovalova

Director,
Science and Technology Development Support Fund
"Science-Intensive Technologies"
(building 1, 21/33 Krzhizhanovsky street,
Moscow, Russia)

Alexander M. Pankin

Doctor of technical sciences,
associate professor of the higher school
"Nuclear and Thermal Power Engineering",
Saint-Petersburg Polytechnic University
named after Peter the Great
(29 Politekhnicheskaya street, Saint-Petersburg, Russia)

Igor A. Tutnov

Doctor of technical sciences, professor,
head of the laboratory,
National Research Center "Kurchatov Institute"
(1 Acad. Kurchatova square, Moscow, Russia)

Artem V. Sobolev

Senior lecturer,
sub-department of nuclear power plants,
Obninsk Institute of Atomic Energy
of National Research Nuclear University MEPhI
(1 Studgorodok, Obninsk, Kaluga region, Russia)

Vladimir S. Tsarev

Researcher,
National Research Center "Kurchatov Institute"
(1 Acad. Kurchatova square, Moscow, Russia)