

СТАТЬИ

КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ИХ ОЦЕНКА В ПРОЦЕССЕ РЕАКТОРНОГО НАДЗОРА NRC

Букринский А.М., заслуженный энергетик России

В статье [1] был представлен краткий обзор основных черт и особенностей атомного надзора США, осуществляемого Комиссией по ядерному регулированию (NRC). Составной частью атомного надзора является процесс реакторного надзора (ROP), который основан на контроле семи ключевых факторов безопасности (Cornerstones) и трех факторов широкого влияния (Cross-Cutting Areas). Более подробно этот процесс представлен ниже.

I. Показатели состояния ключевых факторов безопасности

Состояние ключевых факторов безопасности оценивается с помощью специально сформированных показателей состояния (Performance Indicators), которые лицензиат представляет инспекторам NRC ежеквартально. Там, где принятых показателей состояния недостаточно или они неполностью характеризуют контролируемую зону, для оценки ключевых факторов безопасности дополнительно используются результаты инспекций. На основе инспекций также оцениваются факторы широкого влияния, входящие в базовую структуру процесса реакторного надзора.

В базовом документе по ROP [2] принятые ключевые факторы безопасности характеризуются следующим образом.

1. Исходные события. Назначением этого ключевого фактора является ограничение частоты таких событий, которые нарушают стабильную работу установки и требуют выполнения важных функций безопасности как в рабочем, так и в остановленном состоянии. Если надлежащим образом этому не противостоять и будет повреждено множество барьеров, то такая реакторная авария может нарушить безопасность и причинить вред здоровью людей. Лицензиаты могут снизить вероятность реакторных аварий, поддерживая низкую частоту потенциально опасных исходных событий. В число таких событий входят: отключение реактора из-за отключения турбины, потеря питательной воды, потеря внешнего энергоснабжения и другие реакторные переходные процессы.

В число принятых показателей состояния этого ключевого фактора согласно [3] и [4] входят:

- незапланированные отключения реактора как автоматические, так и ручные;
- незапланированные отключения реактора (автоматические и ручные), усложненные дополнительными отказами, например, потерей нормального охлаждения реактора;
- незапланированные изменения мощности реактора.

2. Системы ограничения последствий. Назначением этого ключевого фактора является обеспечение готовности, надежности и эффективности систем, противостоящих переходным процессам станции и реакторным авариям. Лицензиаты снижают вероятность реакторных аварий, повышая готовность и надежность таких систем. Системы ограничения последствий включают такие системы, которые связаны с аварийным впрыском, отводом остаточного тепловыделения и их обеспечивающими системами, такими, например, как система аварийного электроснабжения. Этот ключевой фактор включает системы ограничения последствий как в рабочем, так и в остановленном состоянии реактора.

Согласно [3] и [4], одним из принятых показателей состояния этого ключевого фактора является так называемый «индекс функционирования» соответствующей системы (Mitigating System Performance Index). Этот индекс связан с показателями неготовности и ненадежности важных систем безопасности и влиянием их на вероятность повреждения активной зоны. Он вычисляется для нескольких наиболее важных систем безопасности. Другим показателем состояния этого ключевого фактора является число отказов систем безопасности за определенный период времени.

3. Целостность барьеров. Назначение этого ключевого фактора состоит в том, чтобы барьеры защищали население от радиоактивных выбросов, вызванных авариями. Лицензиаты могут снизить воздействие реакторных аварий или других событий, поддерживая целостность барьеров. К барьерам относятся оболочки топлива, граница контура теплоносителя реактора и защитная оболочка

В качестве показателей состояния для этого ключевого фактора принята активность теплоносителя первого контура (как показатель неплотности топливных оболочек) и величина течи из первого контура. Состояние третьего барьера оценивается только инспекционными методами.

4. Аварийная готовность. Назначение этого ключевого фактора состоит в том, чтобы действия, предпринятые во время чрезвычайной ситуации по противоаварийному плану, обеспечивали безопасность и защиту здоровья населения. Лицензиаты могут обеспечить корректную реализацию противоаварийного плана за счет соответствующей подготовки и тренировок. Это даст обоснован-

ную уверенность в том, что лицензиат сможет эффективно защитить здоровье населения и обеспечить безопасность в случае радиологической чрезвычайной ситуации. Данный ключевой фактор не включает внешние действия, которые обеспечиваются Федеральным агентством по чрезвычайным ситуациям (Federal Emergency Management Agency).

Для этого ключевого фактора принято три показателя состояния:

- проведение противоаварийных тренировок подразделениями реагирования в чрезвычайных ситуациях;
- готовность подразделений реагирования к чрезвычайным ситуациям;
- наличие системы сигнализации и оповещения жителей окрестных территорий.

5. Радиационная защита персонала. Назначение этого ключевого фактора состоит в том, чтобы защитить здоровье рабочих и обеспечить их безопасность от облучения радиоактивными веществами при обычной работе гражданских реакторов. Это облучение возможно в слабо контролируемых или вовсе не контролируемых зонах. Возможно также необоснованное облучение рабочих радиоактивными веществами. Лицензиаты могут поддерживать профессиональное облучение рабочих, придерживаясь соответствующих регулирующих ограничений и принципа ALARA (as low as is reasonably achievable).

Показателем состояния для этого ключевого фактора является эффективность контроля профессионального облучения. Этот показатель отслеживает контроль доступа и работу в радиологически опасных зонах, а также случаи отказа предусмотренных мер (барьеров), приводящие к незапланированному облучению.

6. Радиационная защита населения. Назначение этого ключевого фактора состоит в том, чтобы обеспечить надлежащую безопасность и защиту здоровья населения от облучения радиоактивными веществами, выделяющимися на заселенные территории в результате обычной работы гражданских ядерных реакторов. Эти выделения включают газы, жидкости и загрязненные твердые материалы. Сюда также относятся выделения, связанные с транспортировкой радиоактивных веществ и отходов за пределами площадки. Лицензиаты могут обеспечить защиту населения, соблюдая соответствующие регулирующие ограничения, а также принцип ALARA.

Для этого ключевого фактора в качестве показателя состояния приняты случаи превышения радиологическими выделениями уровней, предусмотренных технологическим регламентом, за определенный период времени.

7. Физическая защита. Назначением этого ключевого фактора является обеспечение уверенности в том, что система физической защиты лицензиата и его программа контроля и учета материалов построены по принципу глубокоэшелонированной защиты и обеспечивают защиту от проектных угроз радиологических диверсий и других внешних и внутренних угроз, а также от воровства или пропажи радиологических материалов.

NRC активно контролирует этот ключевой фактор, однако информацию о нем считает закрытой.

В [5] приведена информация о трех показателях состояния, используемых для контроля этого ключевого фактора. Это:

- индекс работы охранного оборудования защищенных зон, определяемый временем неготовности этого оборудования (скрытые телекамеры, система детектирования неразрешенного проникновения);
- выполнение программы проверки персонала для доступа в охраняемые зоны без сопровождения;
- выполнение программы контроля и обеспечения надежности персонала для выполнения служебных обязанностей.

II. Факторы широкого влияния

Факторы широкого влияния включают:

- человеческий фактор;
- благоприятную для безопасности рабочую обстановку, при которой поощряется приверженность каждого работника приоритету безопасности и возможность без страха поднимать вопросы безопасности перед руководством вплоть до NRC;
- эффективность выявления и решения проблем безопасности лицензиатом.

Это хорошо известные элементы культуры безопасности. Они оказывают влияние на все семь ключевых факторов безопасности, рассмотренных выше, и отражаются на соответствующих показателях их состояния. Контроль и оценка факторов широкого влияния обеспечиваются за счет инспекций.

В [6] представлены 32 зоны для проведения инспекций для контроля шести ключевых факторов, кроме «Физической защиты», информацию о которой NRC ограничивает. Для каждой из указанных зон в Руководстве по инспекциям предусмотрены соответствующие инструкции (Inspection Procedure, IP). Сюда входят как инспекции для контроля ключевых факторов безопасности там, где

недостаточно показателей состояния, так и инспекции для контроля факторов широкого влияния. Эти инспекции планируются как базовые, и большинство из них проводится не реже одного раза в год. В случае выявления каких-либо проблем могут назначаться дополнительные инспекции.

III. Структура процесса реакторного надзора

В [2] для каждого ключевого фактора безопасности приведены схемы, раскрывающие структуру влияний, оказываемых на ключевые факторы со стороны проекта, условий эксплуатации, факторов широкого влияния и т.п. Там же приведены все принятые показатели состояния и зоны их действия, а также зоны контроля инспекционными методами.

Эти схемы воспроизведены на рисунках 1 – 9¹ и полностью раскрывают структуру действующего в настоящее время в США процесса реакторного надзора.

На схемах используется довольно много сокращений, которые сохранены в таком виде, как они представлены в первоисточнике. Часть этих сокращений расшифрована в первоисточнике и соответственно переведена на русский язык на самих схемах, а для остальных расшифровка, выполненная на основе документов NRC [2] и [7], приведена ниже.

Перечень оригинальных сокращений, используемых в схемах рисунков 1 – 9, расшифровка которых на схемах не представлена:

ALARA – As Low As is Reasonably Achievable (Так низко, насколько это достижимо на разумной основе).

ANS – Alert and Notification System (Система сигнализации и оповещения).

AOP – Abnormal Operation Procedure (Инструкция по эксплуатации при нарушениях).

ARM Cals – Area Radiation Monitor Calibrations (Калибровки монитора радиационных зон).

DOT – U.S. Department of Transportation (Департамент транспортировки США).

EOP – Emergency Operation Procedure (Инструкция по ликвидации аварии).

EP – Emergency Preparedness (Аварийная готовность).

ERO – Emergency Response Organization (Подразделения реагирования в чрезвычайных ситуациях).

FEMA – Federal Emergency Management Agency (Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям).

FME – Foreign Material Exclusion (Исключение попадания посторонних предметов).

HRA – High Radiation Area (Зона высокой радиации).

ISI – In-service Inspection (Эксплуатационный контроль).

ISLOCA – Interfacing System Loss-of-Coolant-Accident (Авария с межсистемной течью теплоносителя).

LOCA (S, M, L) – Loss of Coolant Accident (Small, Middle, Large) (Авария с потерей теплоносителя (малая, средняя, большая)).

RCS – Reactor Coolant System (Система теплоносителя реактора).

RP – Radiation Protection (Радиационная защита).

SGTR – Steam Generator Tubes Rupture (Разрыв трубок парогенератора).

S/G – Steam/ Generator (Парогенератор).

SOP – Standard Operation Procedure (Стандартная эксплуатационная инструкция).

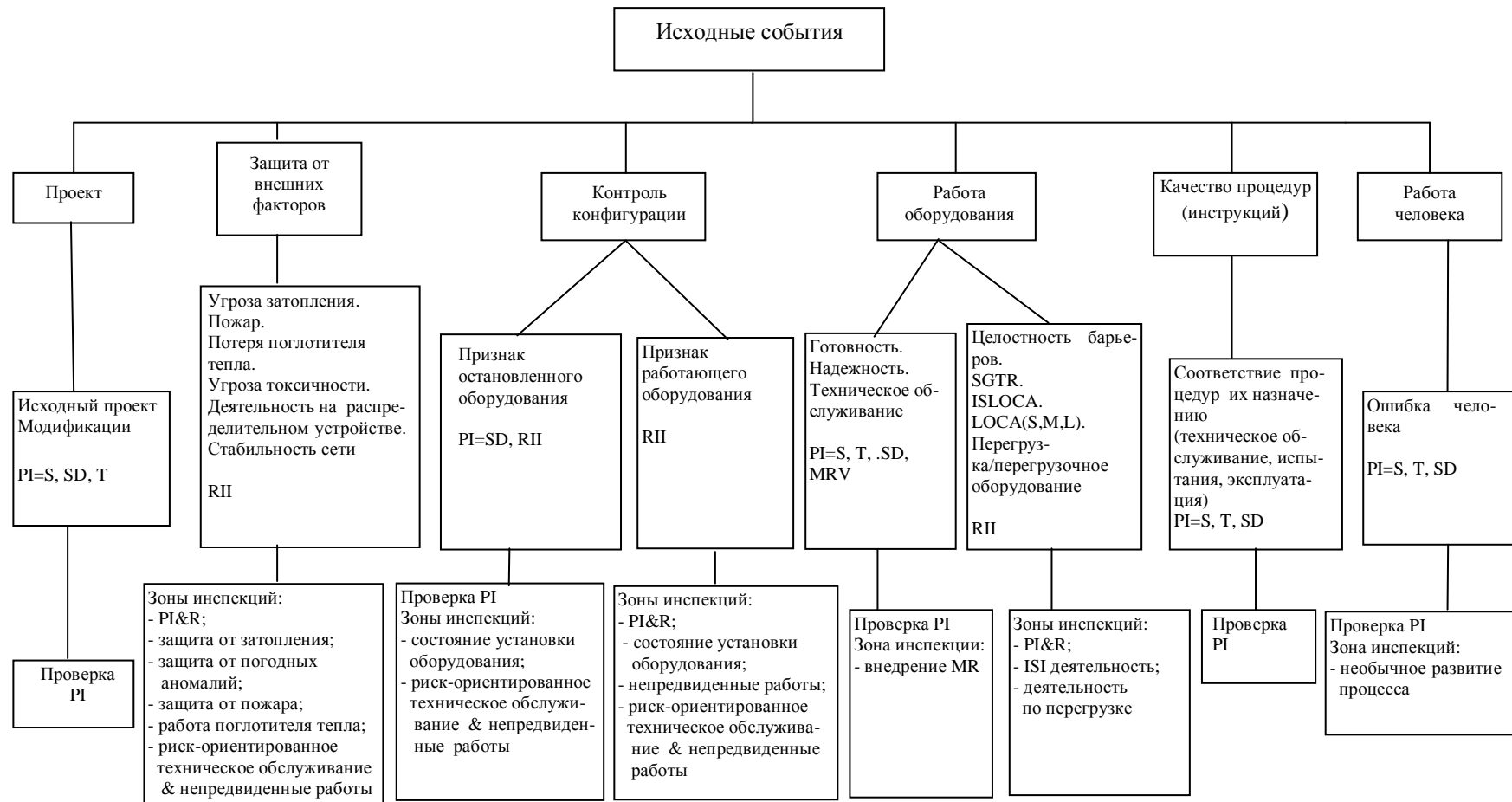
SS – Safety System (Системы безопасности).

SSC – Structures, Systems, and Components (Конструкции, системы и компоненты).

TS – Technical Specifications (Технологический регламент).

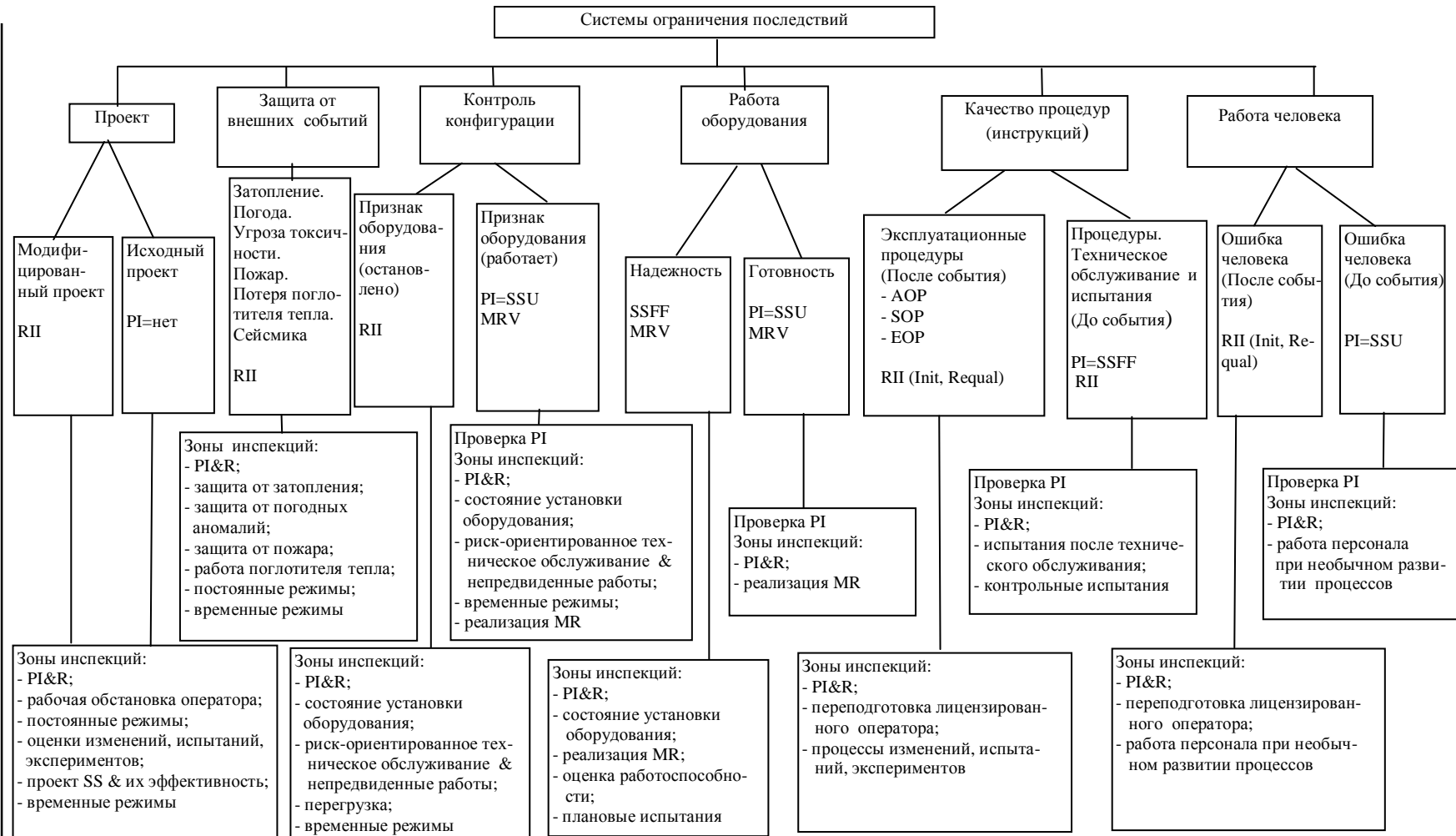
VHRA – Very High Radiation Area (Зона очень высокой радиации).

¹ Для ключевого фактора «Целостность барьеров» представлены три схемы – по одной для каждого из барьеров.



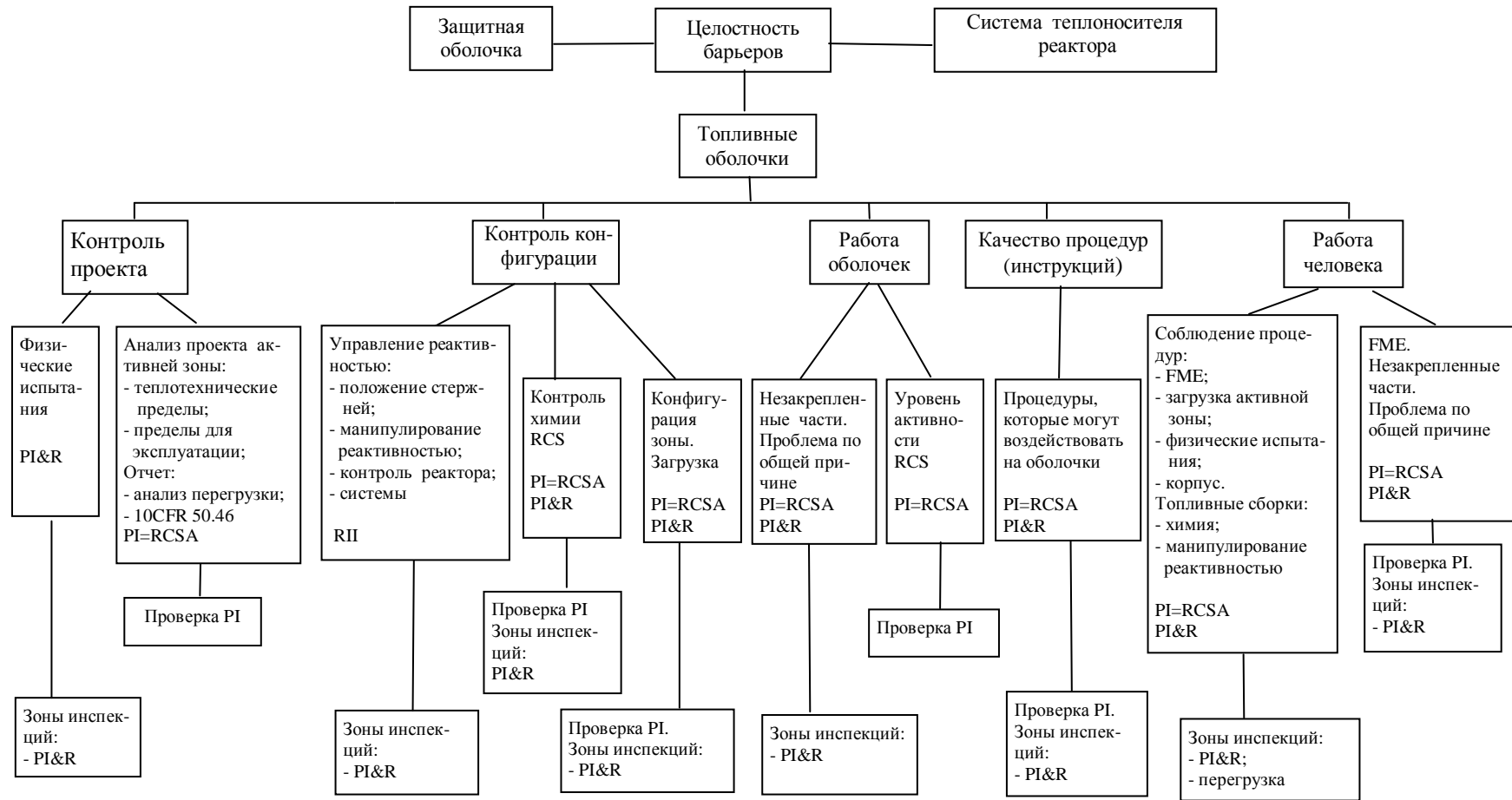
PI – Performance Indicator (Показатель состояния); S – Scrams (Быстрые остановки реактора, А3); T – Transients (Переходные процессы); SD – Shutdown Margin (Future) (Запас безопасности при остановке); RII – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); MR – Maintenance Rule (Правила технического обслуживания); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем).

Рис. 1.



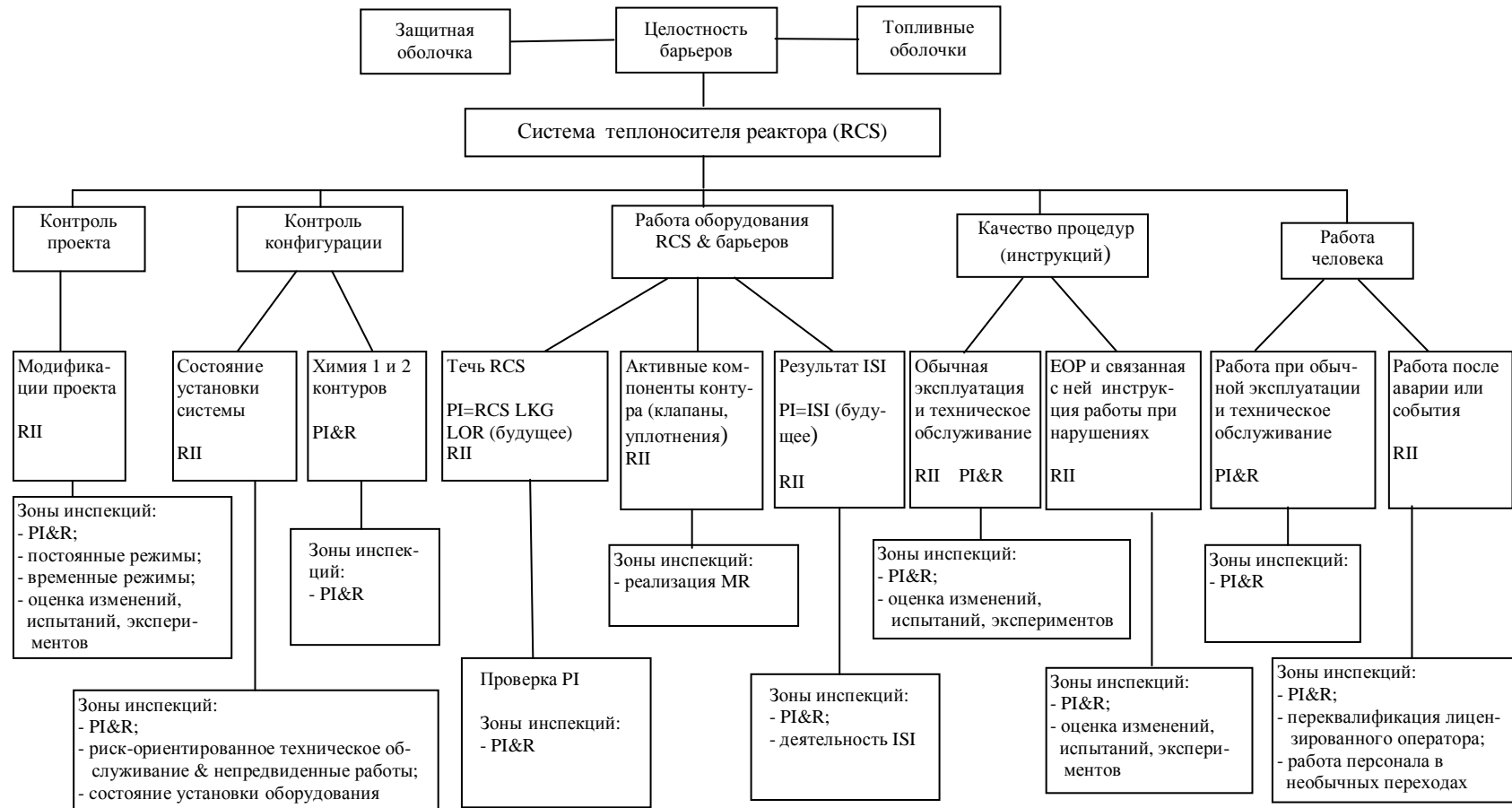
PI – Performance Indicator (Показатель состояния); SSFF – Safety System Functional Failures (Отказы системы безопасности); SSU – Safety System Unavailability (Неготовность системы безопасности); RPI – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); Init – Initial Operator Exam (Исходная проверка оператора); Requal – Operator Requalification (Переподготовка оператора); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем); MR – Maintenance Rule (Правила технического обслуживания); V – Verification and Validation (Проверка и подтверждение, аттестация)

Рис. 2.



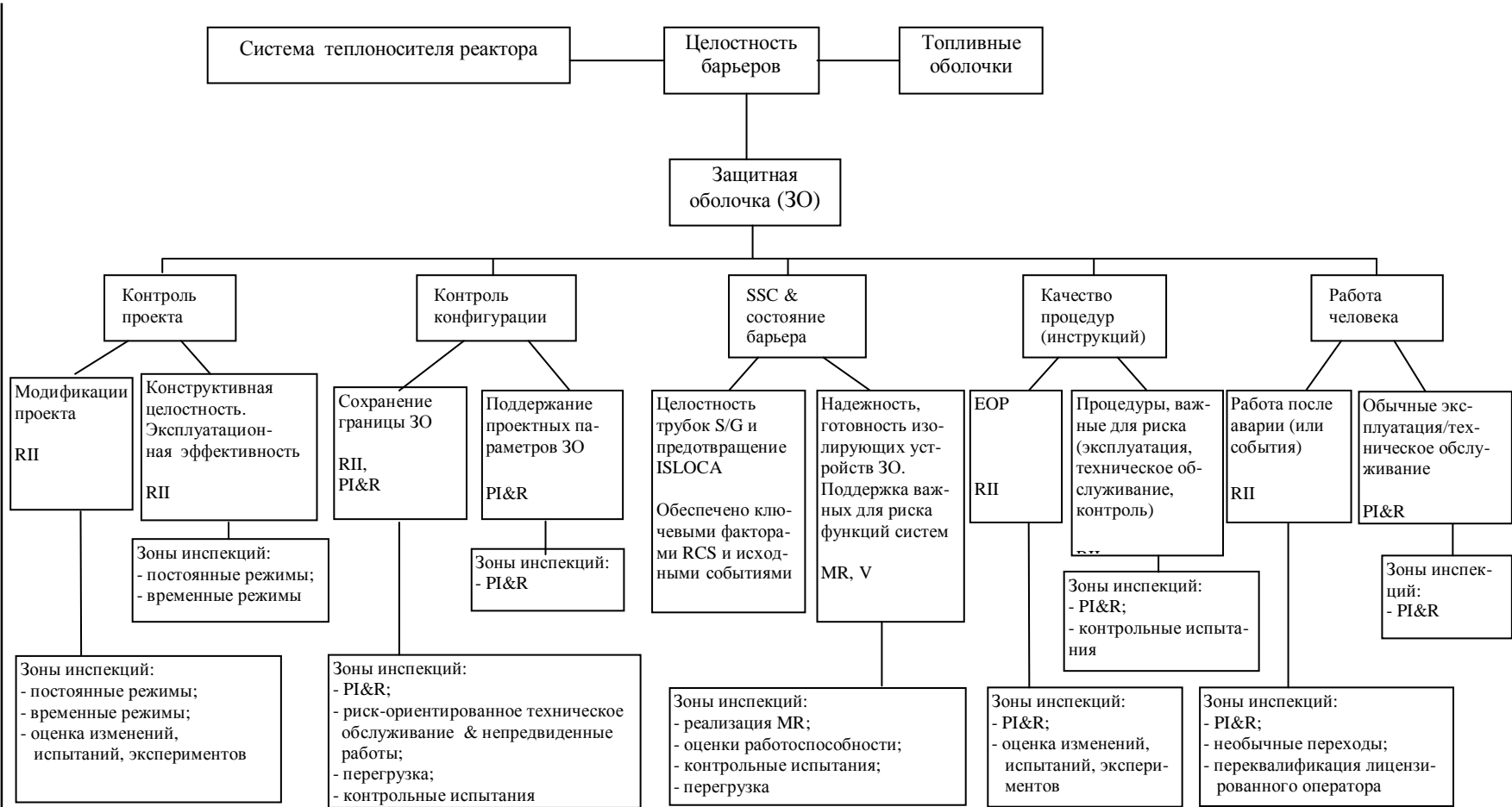
PI – Performance Indicator (Показатель состояния); RCSA – Reactor Coolant System Activity (Активность теплоносителя); RII – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем)

Рис. 3.



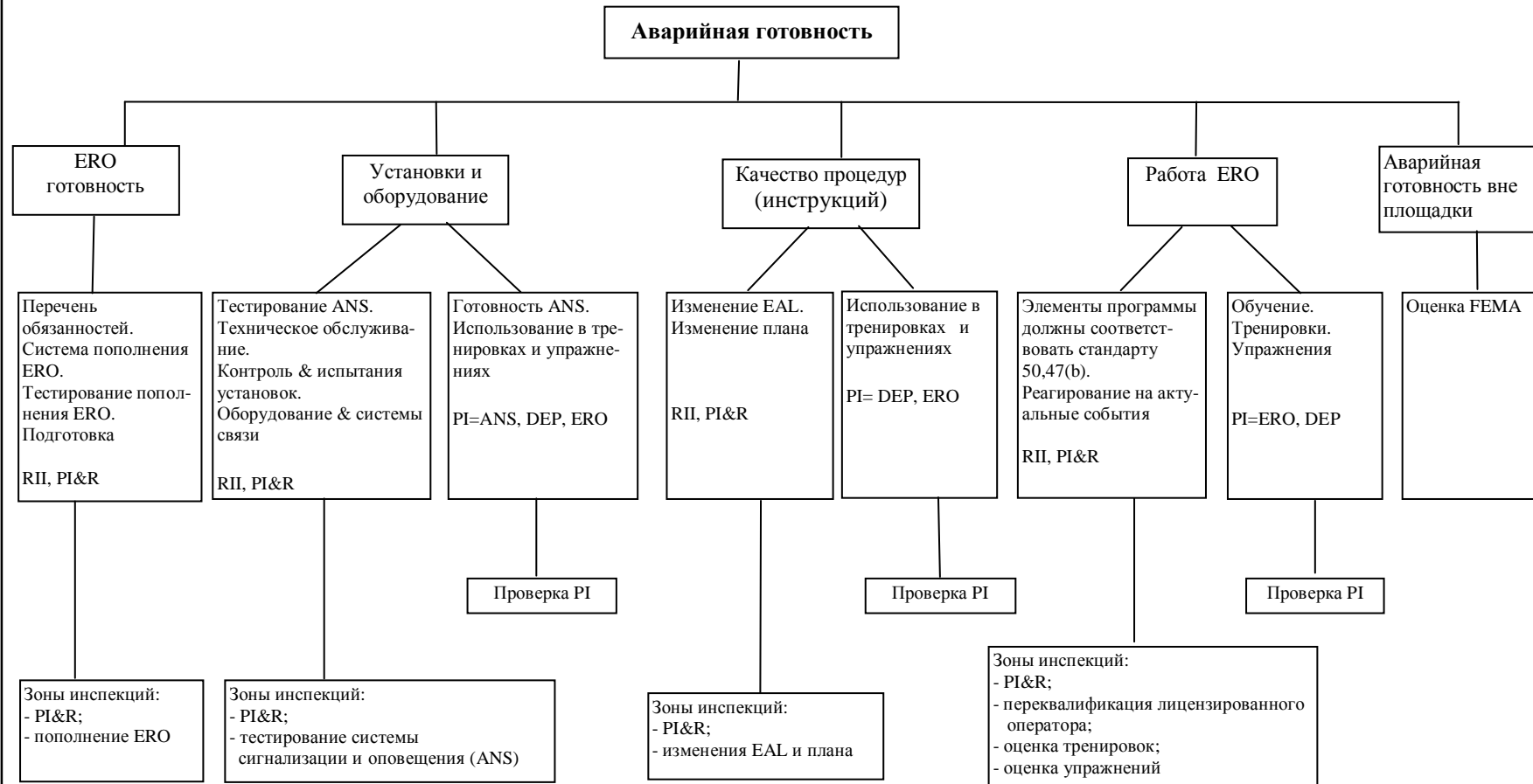
PI – Performance Indicator (Показатель состояния); RCSLKG – Reactor Coolant System Leakage (identified, unidentified) – течь теплоносителя (выявленная, не выявленная); LOR – Leak Occurrence Rate (future) – расход течи (будущий); ISI – In-service Inspection (future) – инспекция при эксплуатации (будущая); RII – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем)

Рис. 4.



V – Verification and Validation (Проверка и подтверждение, аттестация); RII – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); MR – Maintenance Rule (Правила технического обслуживания); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем)

Рис. 5.



PI – Performance Indicator (Показатель состояния); DEP – Drill/exercise Performance PI (Показатель исполнения тренировок/упражнений); ERO – ERO participation PI (Показатель готовности подразделений реагирования); ANS – ANS Availability PI (Показатель готовности системы сигнализации и оповещения); RII – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем); EAL – Emergency Action Level (Уровень чрезвычайных мер)

Рис. 6.



HTR – Health Physics Technician (Дозиметристы); PI – Performance Indicator (Показатель состояния); ORO – Occupational Radiological Occurrence (Случай профессионального облучения):
i – Uncontrolled dose (Неконтролируемая доза), ii – TS HRA nonconformance (Несоответствие зон высокой радиации техническому регламенту), iii – VHRA nonconformance (Несоответствие зон очень высокой радиации); RП – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем)

Рис. 7.



REMP – Radiological Environmental Monitoring Program (Программа радиационного мониторинга окружающей среды); RMS – Radiation Monitoring System (Система радиационного мониторинга); PI – Performance Indicator (Показатель состояния); PERO – Process Effluent Radiological Occurrences (Обработка случаев радиологических выделений); RII – Risk Informed Inspection (Риск-ориентированная инспекция); PI&R – Problem Identification & Resolution (Выявление и решение проблем)

Рис. 8.

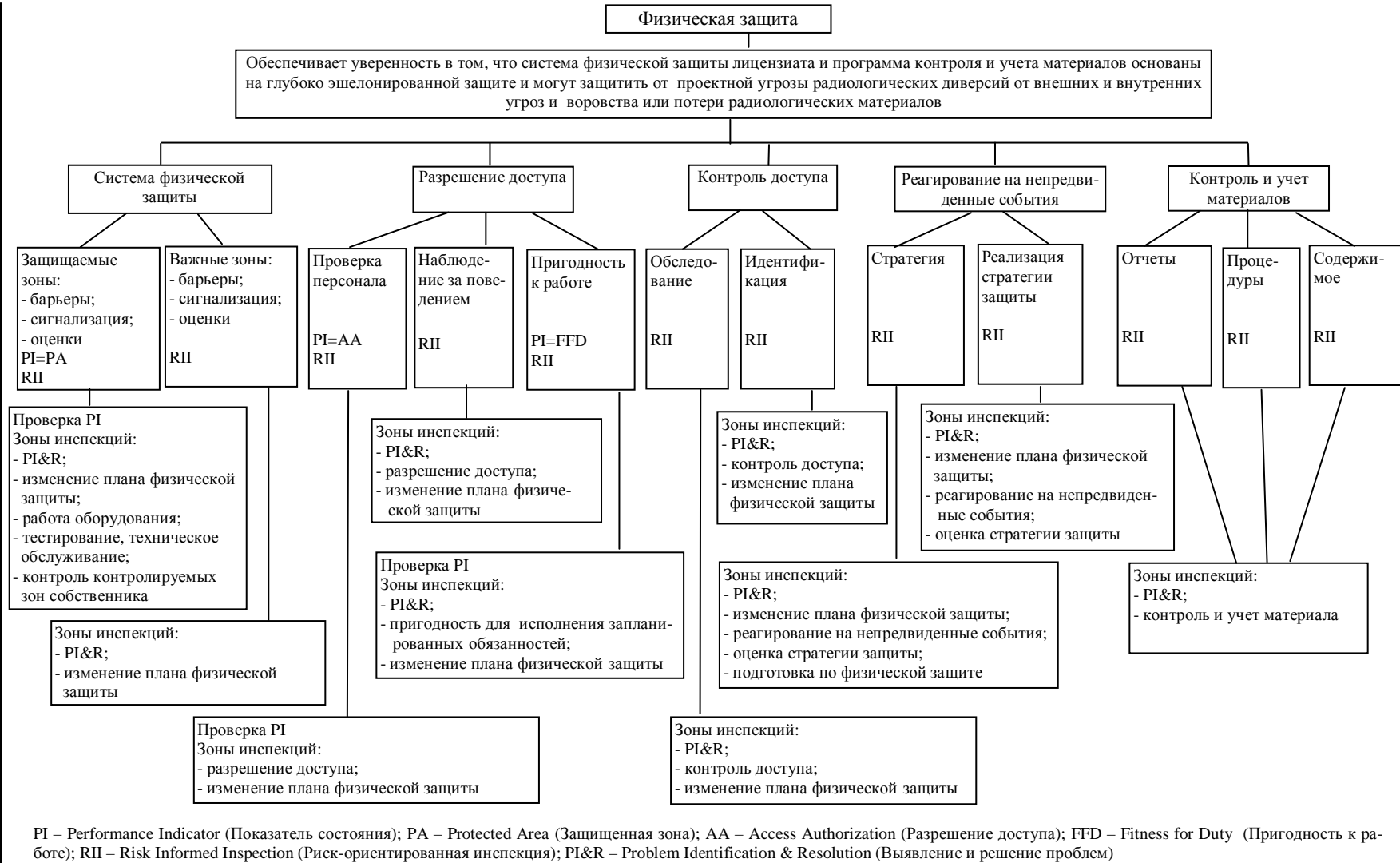


Рис. 9.

Статьи

На схеме (рис.1) один из показателей состояния ключевого фактора «Исходные события», SD, расшифрован как Shutdown Margin (Future) – запас безопасности при остановке. Это одно из ранних наименований показателя состояния «Незапланированные отключения реактора (автоматические и ручные), усложненные дополнительными отказами».

На приведенных схемах кроме зон инспекций, ежегодно планируемых на базовой основе, указаны инспекции, проводимые также ежегодно, для проверки показателей состояния ключевых факторов безопасности, а также инспекции для контроля фактора широкого влияния «эффективность выявления и решения проблем безопасности лицензиатом», обозначаемого на схемах как PI&R. Этой части инспекционной деятельности NRC придает особое значение для оценки соответствия деятельности лицензиата регулирующим требованиям.

Заключение

В приведенном выше материале достаточно детально рассмотрен процесс реакторного надзора, осуществляемый в США NRC. Тем не менее, многие вопросы, представляющие интерес для специалистов, остались нераскрытыми. Это, например, процесс определения значимости результатов инспекций, риск-ориентированный подход к проведению инспекций и выполнению работ и др. Все они могут быть предметом рассмотрения в будущем.

Литература

1. Букринский А.М. Атомный надзор в США (основные черты и особенности). Журнал «Ядерная и радиационная безопасность» №1, 2009.
2. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0308, Reactor Oversight Process (ROP) Basis Document, 2007.
3. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0608, Performance Indicator Program, 2007.
4. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0308, Att 1 Technical Basis for Performance Indicators. 2007.
5. US Nuclear Energy Institute. Regulatory Assessment Performance Indicator Guideline. NEI 99-02 Revision 5. 2007.
6. US Nuclear Regulatory Commission, Inspection Manual Chapter 0308, Att 2 Technical Basis for Inspection Program. 2006.
7. US Nuclear Regulatory Commission. Staff Requirements - SECY-99-007 - Recommendations For Reactor Oversight Process Improvements and SECY-99-007a - Recommendations For Reactor Oversight Process Improvements (Follow-up to SECY-99-007), Staff Requirements Memorandum, June 18, 1999.