



**I Международная
научно-практическая
конференция
ЯДЕРНЫЕ ЗНАНИЯ В XXI ВЕКЕ
Сборник научных трудов**

**26 ноября 2025 года
Минск, Беларусь**



**ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПРАВОЧНИК
ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
БЕЛОРУССКОЙ АЭС
И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ
ПО УПРАВЛЕНИЮ ИМ**

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности представляет собой одну из важнейших задач современности. Развитие атомной энергетики приносит не только значительные преимущества, но и сопряжено с серьезными рисками для окружающей среды и здоровья людей. В условиях быстрого технологического прогресса и повышения сложности ядерных систем перед надзорными органами возникает необходимость в постоянной адаптации и совершенствовании методов контроля и регулирования. В связи с этим в 2021–2024 годах Центр по ядерной и радиационной безопасности совместно с Белорусским государственным университетом информатики и радиоэлектроники провели научно-исследовательскую работу, направленную на разработку системы дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС [1].

С целью автоматизации работы инспекторов Госатомнадзора при организации надзора на этапе эксплуатации Белорусской АЭС и поддержки принятия решений на основе дифференцированного подхода было разработан Информационный справочник (далее – ИС) и Многофункциональная среда по управлению им (далее – МФС).

ИС представляет собой реляционную базу данных, обеспечивающую накопление, хранение и систематизацию информации о показателях безопасной эксплуатации Белорусской АЭС. Ключевые задачи ИС – обеспечение целостности и доступности данных, многопользовательского доступа, исключение дублирования, а также защита информации от несанкционированного вмешательства.

МФС разработана в виде web-приложения, обеспечивающее управление и обработку информации, хранящейся в ИС (рис. 1). Основные функции МФС включают:

- визуализацию данных в текстовой, табличной и графической формах;
- автоматизированный ввод и расчет показателей;
- формирование отчетной и аналитической документации;
- контроль выполнения мероприятий по повышению безопасности;
- выработку рекомендаций и прогнозирование тенденций.



Рисунок 1. Главный раздел ИС и МФС

Под дифференцированным подходом понимается метод организации регулирования безопасности, учитывающий особенности каждого объекта использования атомной энергии. Меры надзора в этом случае соразмерны потенциальной опасности объекта и рискам его эксплуатации. Одним из ключевых критериев дифференцированного подхода является накопленный опыт эксплуатации. Он отражается в системе показателей, характеризующих безопасную работу энергоблоков АЭС. Анализ абсолютных значений этих показателей, а также динамики их изменений, позволяет делать выводы о текущем уровне и тенденциях обеспечения безопасной эксплуатации атомной станции.

Для реализации в контрольно-надзорной деятельности принципов дифференцированного подхода в ряде зарубежных стран органы регулирования используют в своей практике системы показателей безопасности, значения которых отражаются эксплуатирующей организацией в ежегодных отчетах о состоянии ядерной и радиационной безопасности, и позволяют сжато и наглядно представить результаты оценки уровня безопасности ОИАЭ [2].

В рамках научной работы был разработан подход на уровне «статической» модели, который заключается в анализе достигнутого уровня безопасной эксплуатации Белорусской АЭС путем оценки ее показателей безопасной эксплуатации и оценки ее систем, структур и компонентов (далее – ССК) по основным критериям безопасности и определения необходимости и частоты проведения проверок, необходимости применения административных санкций.

В качестве основных показателей безопасной эксплуатации Белорусской АЭС определены:

состояния ядерной безопасности (неплановые автоматические аварийные остановки реактора в критическом состоянии (UA7); неплановые аварийные

остановы реактора в критическом состоянии (US7); показатель работоспособности систем безопасности, а именно системы аварийного впрыска высокого давления, системы аварийной питательной воды, дизель-генераторной установки; надежность ядерного топлива; показатель частоты нарушения пределов и/или условий безопасной эксплуатации; показатель целостности системы герметичных ограждений; показатель нарушений при транспортно-технологических операциях со свежим или отработавшим ядерным топливом);

состояния технической безопасности (химический показатель);

противорадиационной защиты персонала и окружающей среды (уровень облучения персонала, характеристика радиоактивного загрязнения окружающей среды, количество нарушений в работе АЭС с радиационными последствиями);

обращения с радиоактивными отходами (показатели образования и переработки жидких и твердых радиоактивных отходов);

состояния охраны труда и частоты возникновения пожаров;

состояния эксплуатационной безопасности (показатели обеспечения качества эксплуатации, показатели эффективной обратной связи по опыту эксплуатации);

показатели энерговыработки (коэффициенты готовности и неготовности энергоблока; коэффициент вынужденных потерь электроэнергии; коэффициент недовыработки электроэнергии, по причинам связанным с работой энергосистемы).

Согласно положению об оценке показателей эффективности эксплуатационной деятельности Белорусской АЭС для каждого показателя определяется четыре зоны условий эксплуатации (границы областей) [3]:

- первая зона - зона нормальной эксплуатации (80% - 100%). Эта зона характеризуется приемлемыми значениями показателей;

- вторая зона - зона повышенного внимания (60% - 80%). В этой зоне значения показателей отражают тенденцию к ухудшению условий эксплуатации;

- третья зона - зона принятия и реализации корректирующих мер (20% - 60%). При достижении значениями показателей границ этой зоны персонал АЭС разрабатывает корректирующие мероприятия, направленные на то, чтобы эксплуатационные характеристики соответствовали требованиям проекта;

- четвертая зона - зона принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации энергоблока (0% - 20%). При переходе значений одного или нескольких показателей в четвертую зону рассматривается вопрос о дальнейшей эксплуатации энергоблока, разрабатываются корректирующие меры.

Аналогичные зоны определены в общих программах надзора по тематическим направлениям. Граничные значения для каждой зоны определяются и устанавливаются локальными документами эксплуатирующей организации. По результатам анализа информации о показателях, предоставляемой эксплуатирующей организацией в отчетах, регулятором определяется необходимость реализации дополнительных мероприятий и корректирующих мер. Причем объем и характер дополнительных мероприятий имеет прямую зависимость от того, в какой зоне находится значение конкретного показателя или группы показателей [1].

В МФС реализована функция определения зоны, в которой находится значение конкретного показателя безопасной эксплуатации. Для удобства вос-

приятия и наглядности оценка показателей выполняется с применением цветовой шкалы, в которой используются следующие интервальные характеристики:

- зона нормальной эксплуатации (зеленая зона цветовой шкалы),
- зона повышенного внимания (белая зона цветовой шкалы),
- зона принятия и реализации корректирующих мер (желтая зона цветовой шкалы),
- зона принятия решения о возможности дальнейшей эксплуатации энергоблока (красная зона цветовой шкалы).

Для реализации предложенной методики применения дифференцированного подхода при организации надзора на Белорусской АЭС был разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рисунке 2 [2]. Алгоритм включает следующие шаги:

формирование перечня ССК Белорусской АЭС, важных для безопасности;

выбор критериев, необходимых для оценки текущего состояния ССК по степени их влияния на ядерную и радиационную безопасность АЭС, а также перечня возможных качественных оценок и соответствующих им числовых (балльных) оценок по каждому критерию;

выполнение оценки ССК важных для безопасности по всем критериям с использованием выбранных перечней качественных и соответствующих им балльных оценок;

определение для ССК важных для безопасности параметра, содержащего информацию о степени влияния на ядерную и радиационную безопасность АЭС, путем решения математической задачи многокритериальной оптимизации и их ранжирование по величине этого параметра;

принятие решения по организации и осуществлению надзорных мероприятий;

контроль выполнения принятых решений и оценка их эффективности.

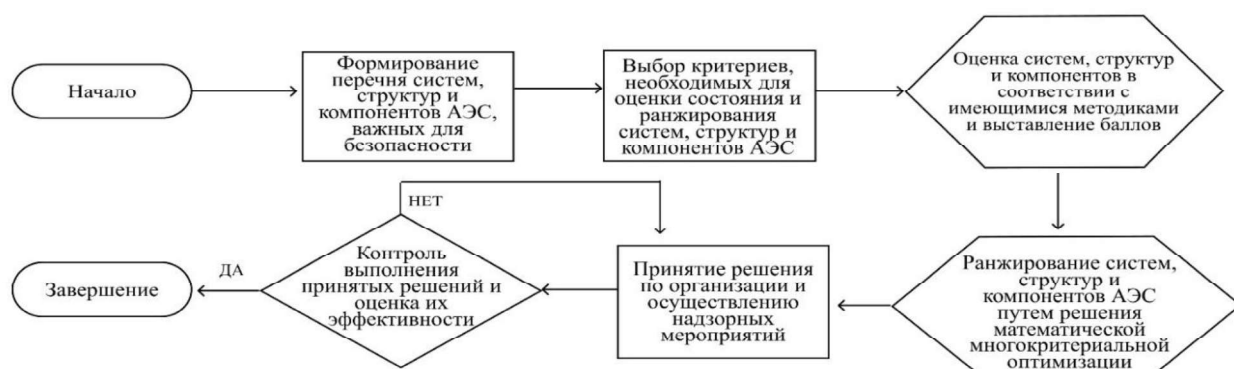


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма методики применения дифференцированного подхода при организации надзора

Для решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях дискретного набора альтернатив применяется метод «идеальной точки». Его суть заключается в определении расстояния в многомерном пространстве критериев между идеальной точкой, отражающей наилучшую возможную альтернативу, и

точкой, соответствующей оцениваемому варианту. Это расстояние рассчитывается по метрике n -мерного Евклидова пространства, что позволяет количественно оценить степень отклонения рассматриваемой альтернативы от идеальной согласно формуле [1]:

$$L_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (1 - g_j^{(i)})^2}, \quad (1)$$

где $g_j^{(i)}$ – нормированная оценка j -ой альтернативы по i -му критерию;

n – количество используемых критериев.

В выражении (1) для однообразного учета значений балльных оценок, максимальные значения которых могут отличаться, и приведения их к единой размерности используются нормированные оценки

$$g^{(i)} = g^{(i)} / g_{\max}^{(i)}, \quad (2)$$

где $g^{(i)}$ – балльная оценка по i -му критерию;

$g_{\max}^{(i)}$ – максимальная балльная оценка по i -му критерию.

Результаты ранжирования ССК по величине показателя «расстояние до наихудшего события» позволяют определить оборудование, требующее первоочередного внимания при инспектировании, и тем самым оптимизировать распределение ресурсов надзорных органов.

Разработанное программное средство предназначено для применения в надзорной и контрольной деятельности, связанной с обеспечением ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь. Его использование позволит повысить результативность надзора за счет внедрения дифференцированного подхода при планировании и проведении контрольных мероприятий на всех этапах жизненного цикла Белорусской АЭС. Кроме того, данное решение может служить прототипом для создания новых программных продуктов, направленных на дальнейшее развитие цифровых технологий в сфере государственного регулирования использования атомной энергии. Применение ИС и МФС также способствует внедрению риск-ориентированного подхода при планировании и осуществлении контрольно-надзорных мероприятий. На основе полученных аналитических данных формируются полугодовые планы государственного надзора в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности на Белорусской АЭС.

Литература

1. Разработать систему дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС: отчет о НИР / ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»; науч. рук. О.Н.Любочко. – Минск, 2024. – 300 с.

2. Дробот С.В., Любочко О.Н., Мазуренко М.В. «О разработке системы дополнительных мер по совершенствованию надзорной деятельности за обеспечением ядерной и радиационной безопасности белорусской АЭС». Информационный бюллетень «Ядерная и радиационная безопасность в Республике Беларусь» № 1, 2025 – 9 – 20 с.

3. Положение об оценке показателей эффективности эксплуатационной деятельности № 202 от 04.04.2023 – 41 с.