



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ: ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА И ПРАКТИК

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований и разработок



МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ (МКА) ПРИ
ПРИНЯТИИ ИНЖЕНЕРНЫХ,
ТЕХНИЧЕСКИХ
И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ

КЛЮЧЕВЫЕ ЭТАПЫ
И КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ
МЕТОДОВ МКА

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ МКА ПРИ
СРАВНЕНИИ ОСНОВНЫХ
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ

ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ МКА ПРИ
ВЫБОРЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ
ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ
ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
СИСТЕМ И ТОПЛИВНЫХ
ЦИКЛОВ

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
частное учреждение «Наука и инновации»
Центр аналитических исследований и разработок

**ПОДХОДЫ, МЕТОДЫ
И ИНСТРУМЕНТЫ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО
АНАЛИЗА В ОБОСНОВАНИЕ
ИНЖЕНЕРНЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ:
ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА
И ПРАКТИК**

Москва
2020

УДК 621.039

ББК 31.4

П 44

П 44 Подходы, методы и инструменты многокритериального анализа в обоснование инженерных и управленческих решений в атомной отрасли: обзор международного опыта и практик. Аналитический отчет [Текст] / А.А. Андрианов, С.А. Квятковский, А.П. Крупнова, И.С. Купцов, П.Б. Птицын ; М. : ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2020. – 72 с. – Рус. – Деп. 04.05.20, № 26-В2020.

© ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2020

Подписано в печать 21.12.2020. Формат 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Гарнитура «Rosatom». Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,37.

Тираж 100 экз. Заказ № 7263.

Отпечатано в ООО «Элефант»:

610040, г. Киров, ул. Мостовая, д. 32/7,

www.hibox.pro

НАЗВАНИЕ РАБОТЫ:

Подходы, методы и инструменты многокритериального анализа в обоснование инженерных и управленческих решений в атомной отрасли: обзор международного опыта и практик.

АВТОРЫ:

Андреанов А.А., руководитель группы разработки аналитических инструментов и интеграции информации, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

Квятковский С.А., аналитик отдела ЯТЦ, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

Купцов И.С., советник группы разработки аналитических инструментов и интеграции информации, частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

Крупнова А.П., главный специалист группы по НТС, Частное учреждение «Наука и инновации», Центр аналитических исследований и разработок;

Птицын П.Б., заместитель директора – директор отраслевого Центра аналитических исследований и разработок, Частное учреждение «Наука и инновации».

РЕФЕРАТ:

В аналитическом отчете описывается международный опыт применения методов поддержки принятия инженерных и управленческих решений в различных прикладных областях, связанных с атомной отраслью и требующих соответствующего комплексного обоснования. Основная цель отчета – обсудить извлеченные уроки, обозначить лучшие практики и указать перспективные направления применения многокритериального анализа в атомной отрасли. В отчете также рассмотрены альтернативные подходы к поддержке принятия решений, используемые в некоторых областях ядерной науки и техники, которые могут быть эффективно объединены с методами многокритериального анализа решений (анализ «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность», оценка жизненного цикла, поддержка групповых решений, геоинформационные системы и т.д.). Приведено описание ключевых этапов процесса поддержки принятия решений и наиболее популярных методов многокритериального анализа решений. Аналитический отчет подготовлен в рамках Плана деятельности отраслевого центра аналитических исследований и разработок на 2019–2020 гг. (п. 4.5).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

атомная энергетика, ядерные реакторы, ядерный топливный цикл, многокритериальный анализ, поддержка принятия решений, анализ чувствительности/неопределенности, сравнительный анализ.

TITLE:

Approaches, methods and tools for multi-criteria decision support in the nuclear industry: a state-of-the-art review of international experience and best practices.

AUTHORS:

Andrianov A.A., Kvyatkovskiy S.A., Kuptsov I.S., Krupnova A.P., Ptitsyn P.B. Rosatom Center for Analytical Research and Developments (CARD), Science and Innovations – Nuclear Industry Scientific Development, Private Enterprise, State Atomic Energy Corporation Rosatom.

ABSTRACT:

The report provides an overview of international experience and best practices in the application of multi-criteria decision-making methods in various engineering and management areas related to the nuclear industry. The primary objective of the report is to discuss lessons learned, identify best practices, and indicate promising areas for applying multi-criteria decision analysis in the nuclear industry. The report also discusses alternative approaches to decision support used in some domains of nuclear science and technology, which can be effectively combined with multi-criteria decision analysis methods (cost-benefit and cost-effectiveness analysis, life cycle assessment, group decision support, geographic information systems, etc.). In addition, a description is given of the key stages of the decision support process as well as the most popular multi-criteria decision analysis methods and tools. This report was prepared as a part of the Rosatom Center for Analytical Research and Developments Action Plan for 2019–2020.

KEY WORDS:

nuclear energy, nuclear technologies, nuclear fuel cycle, multi-criteria decision making, sensitivity/uncertainty analysis, comparative evaluation.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ПОДХОДЫ К ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	12
1.1. Цели поддержки принятия решений	12
1.2. Подходы к обоснованию управленческих решений	14
1.2.1. Анализ «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность»	15
1.2.2. Оценка жизненного цикла	16
1.2.3. Методы дискретного анализа решений	17
1.2.4. Многоцелевая оптимизация	19
1.2.5. Поддержка групповых решений	21
1.2.6. Геоинформационные системы	22
2. КЛЮЧЕВЫЕ ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЯХ	23
2.1. Определение заинтересованных сторон и круга лиц, принимающих решения	24
2.2. Выбор целей и критериев оценки	25
2.3. Формирование набора альтернатив	26
2.4. Оценка критериев и атрибутов альтернатив	27
2.5. Выбор метода агрегации экспертных оценок	27
2.6. Взвешивание критериев	28
2.7. Ранжирование альтернатив	29
2.8. Анализ чувствительности и неопределенности	30
3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАИБОЛЕЕ ПОПУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕШЕНИЙ	31
3.1. Метод MAVT (Multi-Attribute Value Theory)	32
3.2. Метод АНР (Analytic Hierarchy Process)	32
3.3. Методы класса PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations)	33
3.4. Метод TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution)	34
3.5. Метод MAUT (Multi-Attribute Utility Theory)	34
3.6. Множество недоминируемых решений	35
3.7. Системы поддержки принятия решений на основе методов МКАР	35

4. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КРИТЕРИЯХ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	37
4.1. Ранжирование энерготехнологий и альтернативных вариантов энергоснабжения с учетом принципов устойчивого развития	38
4.2. Обоснование выбора варианта развития атомной энергетики.....	39
4.3. Сравнение эффективности ядерных энерготехнологий и технологий топливного цикла.....	40
4.4. Поддержка решений при выборе площадки размещения ядерно-опасного объекта	41
4.5. Многоцелевая оптимизация при проектировании ядерных реакторов и технологий топливного цикла	42
4.6. Поддержка принятия решений в области обращения с ОЯТ и РАО	43
4.7. Поддержка принятия решений по реабилитации техногенно-загрязненных территорий и защите окружающей среды	44
4.8. Поддержка принятия решений в аварийных ситуациях.....	44
4.9. Поддержка принятия решений в области безопасности ЯЭУ на основе комплексного риск-ориентированного подхода	45
4.10. Сравнение эффективности мер обеспечения физической защиты и устойчивости к несанкционированному распространению.....	46
4.11. Оценка экономической эффективности и рисков объектов использования атомной энергии.....	47
4.12. Управление бизнес-процессами и поддержка организационно-управленческих решений	48
5. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА: НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ	51
5.1. Наиболее значимые международные проекты по многокритериальному анализу энерготехнологий (из обзора АО «Концерн Росэнергоатом»)	52
5.2. Исследование NEEDS – «Новые разработки по учету внешних издержек в интересах устойчивого развития»	57
5.3. Исследование Департамента энергетики США по оценке и отбору вариантов ЯТЦ.....	58
5.4. Методика МАГАТЭ сравнительного анализа проектов реакторных установок поколения 3 и 3+.....	60
5.5. Проект сотрудничества ИНПРО/МАГАТЭ «Ключевые индикаторы для оценки инновационных ядерно-энергетических систем»	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	69





ВВЕДЕНИЕ

Под принятием решений понимают процесс человеческой деятельности, направленный на выбор среди различных возможных и допустимых вариантов действий или технологических опций наиболее приемлемого и обоснованного варианта. Принятие решений в области планирования сооружения различного рода объектов, распределения ограниченных финансовых или материальных ресурсов, защиты населения и окружающей среды от последствий техногенного воздействия со стороны всевозможных технических артефактов требует, как правило, многостороннего и многокритериального анализа. Наиболее приемлемое решение, принимаемое в условиях многокритериальной оценки, будет являться компромиссом с учетом рассматриваемых и зачастую конфликтующих между собой целей, критериев, атрибутов. Так, например, реализация более эффективных мер снижения рисков той или иной природы потребует увеличения стоимости проводимых мероприятий. Этот простой пример демонстрирует, что в подобного рода условиях требуются поиск и обоснование компромиссного варианта из набора доступных, который наиболее приемлемым образом уравнивает связанные с рассматриваемыми альтернативами затраты, выгоды и риски.

Процессом поддержки принятия решений называют экспертно-аналитическое содействие людям, ответственным за принятие ре-

шений, посредством предоставления им результатов комплексного и объективного анализа предметной деятельности и проблемной ситуации, для которой необходимо выработать решение. С целью аналитического обеспечения процесса поддержки принятия решений экспертами разрабатываются соответствующие методы и специализированные системы поддержки принятия решений, которые позволяют структурировать дискурс и организовать эффективную экспертизу по выявлению наиболее привлекательных вариантов действий или технологических опций с демонстрацией на количественной основе достоинств и недостатков сравниваемых вариантов, что позволяет представить аргументированные заключения относительно их привлекательности. Данная информация может быть использована в качестве основы для обоснования инженерных и управленческих решений, при этом признается, что само решение может быть выбрано исходя из других соображений, что не снимает необходимости комплексного сопоставления всех возможных вариантов на методически прозрачной и воспроизводимой основе. Немаловажно и то, что существенное влияние на принятие решений могут оказывать также неопределенности различной природы (погрешности измерений, стохастическая природа некоторых критериев оценки, неясности в экспертных оценках и т.д.).

Среди различных методов поддержки принятия решений можно выделить классические методы однокритериальной оптимизации (включая методы линейного и нелинейного программирования), методы анализа «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность», оценку жизненного цикла, методы многокритериального анализа решений и группового анализа решений, инкорпорирующие в себя возможность учета рисков различной природы и мнений общественности и многие другие. Значительное влияние на развитие и признание пользы методов и систем поддержки принятия решений было оказано в том числе благодаря их использованию для поиска эффективных решений по смягчению последствий от крупнейших техногенных аварий. Необходимость в обеспечении комплексной поддержки принятия решений потребовала интеграции различных подходов и методов, что привело к известным изменениям в области средств поддержки принятия решений, включая разработку новых инструментов и систем многокритериального анализа решений.

Созданные на основе разнообразных методов поддержки принятия решений специализированные системы его поддержки являются

в настоящее время незаменимым средством анализа и структурирования информации и данных, учет которых крайне важен для принятия соответствующих решений. Такие системы сочетают в себе как объективные данные, так и субъективные оценки экспертов, заинтересованных лиц, лиц, принимающих решения, и позволяют в числе прочего обращаться с различного рода неопределенностями объективной и субъективной природы.

В настоящее время имеется большое число примеров использования многокритериального анализа для решения таких задач, как оптимальное размещение и использование объектов энергетического комплекса, включая атомные электростанции, управление рисками, планирование землепользования и водопользования, сравнительный анализ энерготехнологий и технологий топливного цикла, защита окружающей среды и реабилитация загрязненных территорий от последствий возможных и/или имевших место техногенных аварий применительно к предприятиям топливного цикла и прочим технологическим объектам энергетического комплекса и химической промышленности. Следует отметить, что в некоторых предметных областях использование методов поддержки принятия решений при многих критериях стало рутинной практикой и не вызывает концептуальных возражений среди профильных экспертов (например, для решения задач по ликвидации последствий техногенных аварий и реабилитации загрязненных территорий, поддержки принятия решений в области недропользования). В некоторых других областях (например, выбор энерготехнологий и технологий топливного цикла для кратко-, средне- и долгосрочного развертывания) систематическое применение соответствующих методов поддержки принятия решений только начинается, и как следствие имеет место острая дискуссия в среде специалистов касательно целесообразности применения таких методов наравне с существующими подходами обоснования решений, сфокусированных в основном на экономическую оценку (последнее характерно для российского экспертного сообщества).

Следует отметить, что в крупнейших международных и зарубежных организациях ядерного профиля на сегодняшний день сформирована культура применения методов поддержки принятия решений при многих критериях, выступающих в качестве одного из аналитических инструментов руководства проектами и обоснования управленческих решений. Так, например, в разных департаментах Международного агентства по атомной энергии систематически используются

методы поддержки принятия решений в качестве неотъемлемой части аналитического инструментария, применению этих методов обучают национальных экспертов в рамках соответствующих сервисов, предлагаемых агентством странам-участницам [1–3]. Другим примером является Департамент энергетики США, где реализуются инициативы по стимулированию внедрения и использования методов поддержки принятия решений при многих критериях в практику руководства проектами и обоснования управленческих решений [4]. Учитывая расширение областей применения методов поддержки принятия решений при многих критериях, прежде всего в предметных областях, связанных с ядерными технологиями, а также наличие соответствующей культуры у зарубежных партнеров, ознакомление российских специалистов и управленцев, работающих в атомной отрасли, с основными идеями и концепциями теории поддержки принятия решений при многих критериях представляется крайне полезным.

В аналитическом отчете описывается международный опыт применения методов поддержки принятия инженерных и управленческих решений в различных предметных областях, так или иначе связанных с атомной отраслью и требующих надлежащего обоснования принимаемых решений. Основная цель отчета – обсудить извлеченные уроки, обозначить лучшие практики и указать перспективные направления применения многокритериального анализа решений для возможного использования в практической работе ГК «Росатом». В отчете также рассмотрены другие подходы к поддержке принятия решений, которые могут быть эффективно объединены с многокритериальной теорией принятия решений (анализ «затраты – выгоды» и «затраты – эффективность», оценка жизненного цикла, поддержка групповых решений, геоинформационные системы и т.д.).

С полными версиями аналитических отчетов отраслевого Центра аналитических исследований и разработок можно ознакомиться на следующих ресурсах:

1. Портал отраслевого Центра аналитических исследований и разработок (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)



2. Раздел отраслевого Центра аналитических исследований и разработок на портале «Страна Росатом» (доступ осуществляется через внутреннюю сеть КСПД Росатома)

