

# Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии

№ NP-T-1.12

Основные  
принципы

Цели

Руководства

Технические  
доклады

**Введение в  
использование  
методологии ИНПРО  
для оценки ядерно-  
энергетических  
систем**



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

# СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

## СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

В соответствии со статьями III.A и VIII.C своего Устава МАГАТЭ уполномочено способствовать обмену научными и техническими сведениями о применении атомной энергии в мирных целях.. Публикации в **Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии** предоставляют информацию в областях ядерной энергетики, ядерного топливного цикла, обращения с радиоактивными отходами и снятия с эксплуатации, а также по общим вопросам, имеющим отношение ко всем вышеупомянутым областям. Структура Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии состоит из трех уровней: **1 — “Основные принципы” и “Цели”; 2 — “Руководства”; и 3 — “Технические доклады”**.

Публикация **“Основные принципы”** в Серии изданий по ядерной энергии содержит описание обоснования и видения в отношении использования ядерной энергии в мирных целях.

В публикациях **“Цели”** в Серии изданий по ядерной энергии разъясняются ожидаемые цели, которые должны быть достигнуты в разных областях на различных этапах осуществления..

В публикациях **“Руководства”** в Серии изданий по ядерной энергии содержатся рекомендации высокого уровня относительно путей достижения целей, которые имеют отношение к различным темам и областям, связанным с использованием ядерной энергии в мирных целях.

В публикациях **“Технические доклады”** в Серии изданий по ядерной энергии предоставляется дополнительная, более подробная информация о видах деятельности, имеющих отношение к различным областям, которым посвящена Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии.

Публикации в Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии имеют следующие кодовые обозначения: **NG** — общие вопросы; **NP** — ядерная энергетика; **NF** — ядерное топливо; **NW** — обращение с радиоактивными отходами и снятие с эксплуатации. Кроме того, указанные публикации на английском языке размещены на Интернет-сайте МАГАТЭ:

<http://www.iaea.org/Publications/index.html>

Для получения дополнительной информации просьба обращаться в МАГАТЭ по адресу: PO. Box 100, 1400 Vienna, Austria.

Все пользователи публикаций из Серии изданий МАГАТЭ по ядерной энергии приглашаются информировать МАГАТЭ о своем опыте использования этих публикаций с целью обеспечения того, что публикации продолжают соответствовать потребностям потребителей. Информация может быть предоставлена через сайт МАГАТЭ в Интернете, почтой по указанному выше адресу, или по электронной почте по адресу: [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org).

**ВВЕДЕНИЕ В ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

|                                     |                                     |  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| АВСТРАЛИЯ                           | КАЗАХСТАН                           | ПАРАГВАЙ   |
| АВСТРИЯ                             | КАМБОДЖА                            | ПЕРУ   |
| АЗЕРБАЙДЖАН                         | КАМЕРУН                             | ПОЛЬША   |
| АЛБАНИЯ                             | КАНАДА                              | ПОРТУГАЛИЯ   |
| АЛЖИР                               | КАТАР                               | РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА   |
| АНГОЛА                              | КЕНИЯ                               | РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ   |
| АРГЕНТИНА                           | КИПР                                | РУМЫНИЯ  |
| АРМЕНИЯ                             | КИТАЙ                               | САЛЬВАДОР  |
| АФГАНИСТАН                          | КОЛУМБИЯ                            | САУДОВСКАЯ АРАВИЯ  |
| БАНГЛАДЕШ                           | КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА                   | СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА  |
| БАХРЕЙН                             | КОСТА-РИКА                          | СВЯТЕЙШИЙ ПРЕСТОЛ  |
| БЕЛАРУСЬ                            | КОНГО                               | СЕНЕГАЛ  |
| БЕЛЬГИЯ                             | КОТ-Д'ИВУАР                         | СЕРБИЯ   |
| БЕЛИЗ                               | КУБА                                | СИНГАПУР   |
| БЕНИН                               | КУВЕЙТ                              | СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА                                 |
| БОЛГАРИЯ                            | КЫРГЫЗСТАН                          | СЛОВАКИЯ   |
| БОЛИВИЯ                             | ЛАТВИЯ                              | СЛОВЕНИЯ   |
| БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА                | ЛИБЕРИЯ                             | СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО<br>ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ<br>ИРЛАНДИИ |
| БОТСВАНА                            | ЛИВАН                               | СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ<br>АМЕРИКИ                                     |
| БРАЗИЛИЯ                            | ЛИВИЙСКАЯ АРАБСКАЯ<br>ДЖАМАХИРИЯ    | СУДАН  |
| БУРКИНА-ФАСО                        | ЛИТВА                               | СЬЕРРА-ЛЕОНЕ   |
| БУРУНДИ                             | ЛИХТЕНШТЕЙН                         | ТАДЖИКИСТАН  |
| БЫВШАЯ ЮГОСЛ. РЕСП.<br>МАКЕДОНИЯ    | ЛЮКСЕМБУРГ                          | ТАИЛАНД  |
| ВЕНГРИЯ                             | ЛЕСОТО                              | ТУНИС  |
| ВЕНЕСУЭЛА                           | МАВРИКИЙ                            | ТУРЦИЯ   |
| ВЬЕТНАМ                             | МАВРИТАНИЯ                          | УГАНДА   |
| ГАБОН                               | МАДАГАСКАР                          | УЗБЕКИСТАН   |
| ГАИТИ                               | МАЛАВИ                              | УКРАИНА  |
| ГАНА                                | МАЛАЙЗИЯ                            | УРУГВАЙ  |
| ГВАТЕМАЛА                           | МАЛИ                                | ФИЛИППИНЫ  |
| ГЕРМАНИЯ                            | МАЛЬТА                              | ФИНЛЯНДИЯ  |
| ГОНДУРАС                            | МАРОККО                             | ФРАНЦИЯ  |
| ГРЕЦИЯ                              | МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА                  | ХОРВАТИЯ   |
| ГРУЗИЯ                              | МЕКСИКА                             | ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА                              |
| ДАНИЯ                               | МОНАКО                              | ЧАД  |
| ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА КОНГО | МОНГОЛИЯ                            | ЧЕРНОГОРИЯ   |
| ДОМИНИКАНСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА         | МОЗАМБИК                            | ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА   |
| ЕГИПЕТ                              | МЬЯНМА                              | ЧИЛИ   |
| ЗАМБИЯ                              | НАМИБИЯ                             | ШВЕЙЦАРИЯ  |
| ЗИМБАБВЕ                            | НЕПАЛ                               | ШВЕЦИЯ   |
| ИЗРАИЛЬ                             | НИГЕР                               | ШРИ-ЛАНКА  |
| ИНДИЯ                               | НИГЕРИЯ                             | ЭКВАДОР  |
| ИНДОНЕЗИЯ                           | НИДЕРЛАНДЫ                          | ЭРИТРЕЯ  |
| ИОРДАНИЯ                            | НИКАРАГУА                           | ЭСТОНИЯ  |
| ИРАК                                | НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ                      | ЭФИОПИЯ  |
| ИРАН, ИСЛАМСКАЯ<br>РЕСПУБЛИКА       | НОРВЕГИЯ                            | ЮЖНАЯ АФРИКА   |
| ИРЛАНДИЯ                            | ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА<br>ТАНЗАНИЯ | ЯМАЙКА   |
| ИСЛАНДИЯ                            | ОБЪЕДИНЕННЫЕ<br>АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ    | ЯПОНИЯ   |
| ИСПАНИЯ                             | ОМАН                                |  |
| ИТАЛИЯ                              | ПАКИСТАН                            |  |
| ЙЕМЕН                               | ПАЛАУ                               |  |
|                                     | ПАНАМА                              |  |

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение “более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире”.

# ВВЕДЕНИЕ В ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО ДЛЯ ОЦЕНКИ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Доклад в рамках Международного проекта по инновационным  
ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО)

## **УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ**

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены в соответствии с положениями Всемирной конвенции об авторском праве в том виде, как она была принята в 1952 году (Берн) и пересмотрена в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно является предметом соглашений о роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом отдельном случае. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта  
Издательская секция  
Международное агентство по атомной энергии  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria  
факс: +43 1 2600 29302  
тел.: +43 1 2600 22417  
эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

© МАГАТЭ, 2011

Напечатано МАГАТЭ в Австрии  
Июнь 2011

**ВВЕДЕНИЕ В ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

МАГАТЭ, ВЕНА, 2011

STI/PUB/1478

ISBN 978–92–0–416310–0

ISSN 1995–7807

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО) был начат в 2001 году на основе резолюции Генеральной конференции МАГАТЭ в 2000 году (GC (44)/RES/21). С этого момента деятельность ИНПРО непрерывно поддерживалась резолюциями Генеральной конференции МАГАТЭ и Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций.

Цели ИНПРО заключаются в том, чтобы:

- помочь обеспечить, чтобы ядерная энергетика была доступной для того, чтобы внести вклад в устойчивость достижения цели удовлетворения энергетических потребностей в XXI веке;
- собрать вместе обладателей и пользователей технологиями с тем, чтобы они могли совместно рассмотреть действия на международном и национальном уровнях, выполнение которых необходимо для обеспечения устойчивости ядерной энергетики за счет инноваций в технологии и/или институциональных договоренностях.

Чтобы достичь этих целей, ИНПРО разработал ряд основных принципов, требований пользователей и критериев наряду с методом оценки, которые являются основой методологии ИНПРО для оценки устойчивости инновационных ядерно-энергетических систем. Для обеспечения дополнительного разъяснения по применению методологии ИНПРО было разработано Руководство ИНПРО в девяти томах; Руководство состоит из одного обзорного тома и восьми томов, охватывающих такие области, как экономика, институциональные меры (инфраструктура), обращение с отходами, устойчивость к распространению, физическая защита, окружающая среда (в том числе воздействие стрессоров и доступность ресурсов), безопасность реакторов и безопасность установок ядерного топливного цикла.

Для оказания помощи государствам-членам в применении методологии ИНПРО, разрабатывается пакет поддержки оценки ядерно-энергетической системы (ОЯЭС). Сюда входит база данных (содержащая входные данные для оценки), проведение учебных курсов по методологии ИНПРО и примеры всесторонних оценок.

Эта публикация содержит руководство к тому, как различные потенциальные пользователи, включая разработчиков ядерных технологий, опытных пользователей и потенциальных начинающих пользователей ядерных технологий («новичков») могут применять методологию ИНПРО в различных целях. Некоторая информация в этом руководстве представляет общий интерес, а некоторая - специфична для различных типов пользователей. Таким образом, каждый раздел начинается с заявления о целевой аудитории данного раздела.

Информацию об ИНПРО можно найти на следующем вебсайте: [www.iaea.org/INPRO](http://www.iaea.org/INPRO).

Сотрудником МАГАТЭ, ответственным за эту публикацию, являлся г-н Р. Битти (R.Beatty) из Отдела ядерной энергетики.





# СОДЕРЖАНИЕ

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | ВВЕДЕНИЕ.....  | 1  |
| 1.1. | Определение ОЯЭС.....  | 1  |
| 1.2. | Потенциальные пользователи методологии ИНПРО.....  | 1  |
| 1.3. | История разработки методологии ИНПРО.....  | 2  |
| 1.4. | Характеристики методологии ИНПРО.....  | 2  |
| 1.5. | Пакет поддержки ОЯЭС.....  | 3  |
| 1.6. | Структура.....   | 3  |
| 2.   | ОБЩИЙ ОБЗОР МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО.....   | 4  |
| 2.1. | Концепция устойчивого развития в планировании энергетических систем<br>и методология ИНПРО.....  | 4  |
| 2.2. | Холистический характер методологии ИНПРО.....  | 5  |
| 2.3. | Требования методологии ИНПРО.....  | 6  |
| 3.   | ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО.....  | 10 |
| 3.1. | Область охвата и глубина исследований при использовании методологии ИНПРО.....   | 10 |
| 3.2. | Выполнение полномасштабной всеобъемлющей ОЯЭС.....   | 11 |
| 3.3. | Выполнение ОЯЭС.....   | 13 |
| 3.4. | Последующие меры после ОЯЭС.....   | 14 |
| 3.5. | Документирование ОЯЭС.....   | 14 |
| 3.6. | Рассмотрение ОЯЭС.....   | 15 |
| 4.   | ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО СТРАНОЙ – «НОВИЧКОМ».....  | 15 |
| 4.1. | Использование дифференцированного подхода.....   | 16 |
| 4.2. | Повышение информированности о проблемах устойчивого развития ядерной энергетики.....   | 16 |
| 4.3. | ОЯЭС с ограниченной областью охвата.....   | 17 |
| 4.4. | Перспективное применение ОЯЭС.....   | 20 |
| 4.5. | Соотношение между инструментарием для планирования энергетических систем,<br>методологией ИНПРО и «метода вех» применительно к стране-«новичку»..... | 21 |
| 5.   | ВЫПОЛНЕНИЕ ОЯЭС ОПЫТНЫМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ТЕХНОЛОГИИ.....  | 24 |
| 5.1. | Выгоды от выполнения ОЯЭС для опытного пользователя.....   | 24 |
| 5.2. | Характеристики ЯЭС, область охвата ОЯЭС и группа оценки.....   | 24 |
| 5.3. | Выполнение ОЯЭС.....   | 27 |
| 5.4. | Источники информации.....  | 28 |
| 5.5. | Сравнение вариантов ЯЭС.....   | 29 |
| 5.6. | Зрелость вариантов ЯЭС.....  | 31 |
| 5.7. | Агрегирование и подведение итогов по результатам ОЯЭС.....   | 31 |
| 5.8. | Учет расположения некоторых из установок ЯЭС за пределами страны.....  | 32 |
| 6.   | ВЫПОЛНЕНИЕ ОЯЭС РАЗРАБОТЧИКОМ ТЕХНОЛОГИИ.....  | 32 |
| 6.1. | Введение.....  | 33 |
| 6.2. | Область охвата ОЯЭС и группа оценки.....   | 33 |
| 6.3. | Применение ОЯЭС для выбора варианта и оценки зрелости разработки ЯЭС.....  | 34 |
| 6.4. | Агрегирование результатов ОЯЭС для сравнения вариантов ЯЭС.....  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| 7. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ .....                       | 35 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ I: КАК СРАВНИВАТЬ ВАРИАНТЫ ЯЭС .....         | 37 |
| ГЛОССАРИЙ.....  | 39 |
| СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....                               | 43 |
| СОКРАЩЕНИЯ.....   | 45 |
| СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ .....                          | 47 |
| СТРУКТУРА СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ..... | 49 |

# 1. ВВЕДЕНИЕ

Этот раздел представляет интерес для всех потенциальных пользователей методологии ИНПРО, включая разработчиков ядерных технологий, опытных пользователей ядерных технологий и «новичков».

Для оказания помощи государствам-членам в развитии и поддержании ядерно-энергетических программ МАГАТЭ предлагает множество инструментариев и услуг. Практически, каждая организационная единица в рамках МАГАТЭ оказывает специализированные услуги в её области знаний, которые различными способами предоставляются государствам-членам, такими, как проведение миссий МАГАТЭ в странах, учебных занятий, предоставлением исчерпывающей документации по специфическим вопросам, проведением форумов для обсуждения важных тем и т.д. К этим инструментариям и услугам МАГАТЭ могут получить доступ различные пользователи, такие как разработчики технологий и опытные пользователи ядерной энергетики в соответствии с их целями. Методология ИНПРО – один из таких инструментариев. Для стран-«новичков» три различных, но взаимодополняющих комплекта инструментария представляют особый интерес, а именно: инструментарий планирования энергетических систем; инструментарий, предоставляемый при использовании «метода вех», и методология ИНПРО. Соотношение этих трех инструментариев обсуждено более подробно в разделе 4.5 этой публикации.

Эта публикация обеспечивает руководство по использованию методологии ИНПРО для оценки ядерно-энергетических систем (ОЯЭС) для различных аудиторий. Такие оценки могут быть адаптированы применительно к нуждам и целям различных пользователей. Краткое изложение этого доклада, посвященного ИНПРО, представлено в разделе 1.6.

## 1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЯЭС

Оценка ядерно-энергетической системы использует методологию ИНПРО, чтобы дать целостную оценку данной ядерно-энергетической системы (ЯЭС) с целью подтверждения ее долгосрочной устойчивости или определения проблем или пробелов, которые подлежат рассмотрению (например, определить меры, которые необходимо предпринять для того, чтобы данная ЯЭС стала устойчивым источником энергоснабжения). Таким образом, ОЯЭС является инструментарием, который помогает пользователям принимать решения относительно того, как осуществлять, поддерживать или развивать ядерно-энергетические программы устойчивым образом.

## 1.2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛИ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Эта публикация содержит руководящие материалы по применению методологии ИНПРО, как изложено в Руководстве ИНПРО [1]. Учитывая различные типы пользователей, которые могут потенциально выполнять ОЯЭС, и то, что ОЯЭС может выполняться в различных целях ([5]), руководящие материалы даются для трех различных категорий возможных пользователей:

- разработчиков ядерных технологий, при этом предполагается, что они будут применять методологию ИНПРО для определения направления своих технологических работ;
- опытных пользователей ядерных технологий с хорошо организованной ядерно-энергетической программой, причем предполагается, что они используют ОЯЭС для оценки устойчивости своей существующей ЯЭС и (или) для того, чтобы оказать помощь в принятии решений относительно расширения ЯЭС посредством развертывания дополнительных ядерных установок;
- стран, приступающих к осуществлению новых ядерных программ, которые могут использовать методологию ИНПРО для улучшения своего понимания долгосрочных проблем, сопутствующих устойчивому развитию ядерно-энергетических систем, и для поддержки процесса их планирования.

Считается, что типичные пользователи методологии ИНПРО являются людьми, работающими в академических обществах, правительственных организациях, университетах и научно-исследовательских институтах. Основываясь на понимании, полученном при использовании методологии ИНПРО, они могут предоставлять консультации принимающим решения лицам в какой-либо стране относительно долгосрочных проблем ядерной энергетики.

Страна, которая принимает решение о развитии ядерной энергетики, берет на себя долгосрочные обязательства, охватывающие несколько поколений, и принимает на себя ответственность за последствия, которые могут охватывать более чем столетний период времени (см., например, [2]). Можно ожидать, что во время этого периода могут быть введены технологические и институциональные инновации, которые будут воздействовать на ядерно-энергетическую программу страны и ее изменения. Например, в течение такого периода времени может быть разработано два, три, или более поколений конструкций реакторов и введено несметное количество эволюционных изменений. Ядерно-энергетическая программа страны должна быть в состоянии справляться с глобальными изменениями, включая, например, изменение доступности ресурсов урана, изменения в области предоставления ядерных услуг и поставок компонентов, изменения в многостороннем сотрудничестве в таких областях, как услуги ядерного топливного цикла, и в других областях, таких, как законодательство в области нераспространения, ядерной и физической безопасности. В рамках проекта ИНПРО были определены несколько совместных проектов<sup>1</sup>, чтобы проанализировать такие глобальные аспекты, а также для того, чтобы исследовать будущие конструкции ядерных энергетических установок.

### 1.3. ИСТОРИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Проект ИНПРО был инициирован в 2000 году на основе резолюций Генеральной конференции МАГАТЭ (GC (44)/RES/21). Во время его первой фазы, которая закончилась июне 2006, ИНПРО разработал набор требований и метод оценки, которые вместе составляют методологию ИНПРО, что потребовало привлечения более чем 300 экспертов по различным дисциплинам, включая рассмотрение Международным форумом «Поколение IV». Методология развивалась в течение определенного времени:

- в 2003 году был опубликован первый набор требований методологии ИНПРО [3];
- в 2004 году был опубликован пересмотренный и обоснованный набор требований на основе 14 предметных исследований [4];
- в 2007 году были опубликованы первые семь томов Руководства ИНПРО [1], охватывающих такие области, как экономика, институциональные меры (инфраструктура), обращение с отходами, устойчивость к распространению, физическая защита, воздействие на окружающую среду и доступность ресурсов, что необходимо для создания подробных руководящих материалов по выполнению ОЯЭС;
- в конце 2008 года Руководство ИНПРО [1] было обновлено, в него вошли тома 8 и 9, охватывающие область безопасности ядерных реакторов и установок ядерного топливного цикла.

В ходе разработки и документирования, методология ИНПРО собрала вместе большой объем информации, причем использовался холистический подход, как это обсуждается в Разделах 1.4 и 2.2; эта информация должна представлять важное значение как для разработчиков и опытных пользователей ядерными технологиями, так и для «новичков».

### 1.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Методология ИНПРО была разработана для того, чтобы рассмотреть недостатки прошлого и дать ответы на опасения населения, которые обычно утверждает, что ядерная энергетика:

---

<sup>1</sup> Информация о совместных проектах ИНПРО имеется на вебсайте ИНПРО: [www.iaea.org/INPRO](http://www.iaea.org/INPRO)

- слишком дорога;
- небезопасна;
- не обеспечивает долгосрочного решения для ядерных отходов;
- вносит вклад в распространение;
- является целью для террористов;
- не является ни экологически приемлемой, ни устойчивой.

Следовательно, методология ИНПРО определяет шесть областей оценки (объясненных более подробно в разделе 2.3), каждая из которых относится к одному из этих вопросов:

- экономика;
- безопасность ядерных реакторов и установок топливного цикла;
- обращение с отходами;
- устойчивость к распространению;
- физическая защита (физическая безопасность);
- окружающая среда (воздействие стрессоров, доступность ресурсов).

Эти названные выше шесть областей оценки определяют требования, главным образом, в отношении разработчиков ядерных установок. Кроме того, была определена такая область оценки методологии ИНПРО, которая рассматривает аспекты, которые связаны с институциональными мерами или инфраструктурой (такими, как правовая база), необходимыми для создаваемой страной самостоятельно ядерно-энергетической программы, например, усилиями правительства, операторов, эксплуатирующими ядерные установки и (или) национальной атомной промышленности.

ОЯЭС использует холистический подход (обсужденный более подробно в разделе 2.2), требующий рассмотрения в целом ядерно-энергетической системы, состоящей из реакторов и установок начальной и конечной стадии топливного цикла в течение всего жизненного цикла установки, так сказать «от колыбели до могилы», и рассматривает все семь областей ИНПРО.

Методология ИНПРО - апробированный инструмент для выполнения ОЯЭС. К тому времени, когда было написано это руководство, оно было использовано шесть раз для выполнения национальных ОЯЭС и одной международной ОЯЭС, в которой приняли участие восемь стран ([5]).

## 1.5. ПАКЕТ ПОДДЕРЖКИ ОЯЭС

Начальная ответная реакция [5] пользователей методологии ИНПРО определила необходимость создания пакета поддержки ОЯЭС, необходимого для оказания помощи пользователям в применении методологии. Элементы этого пакета поддержки включают входную базу данных, которая нужна для выполнения ОЯЭС, учебные семинары-практикумы и (или) модули, и примеры всесторонних оценок.

Настоящий доклад - один из элементов пакета поддержки ОЯЭС. Используя пакет поддержки, Секретариат ИНПРО может оказать помощь государствам-членам в применении методологии ИНПРО таким образом, который лучше всего соответствует их потребностям.

## 1.6. СТРУКТУРА

В разделе 2 представлен более детальный общий обзор методологии ИНПРО, включая краткое обсуждение взаимосвязи между концепцией устойчивого развития, планированием энергетических систем и методологией ИНПРО.

В разделе 3 представлены различные типы ОЯЭС и обобщенная процедура выполнения ОЯЭС.

В разделе 4 даны конкретные руководящие материалы, предназначенные для стран, приступающих к осуществлению ядерно-энергетических программ (также называемых «новичками»); в разделе 5 представлены руководящие материалы, предназначенные для опытных пользователей технологии; и руководящие материалы, предназначенные для разработчиков технологий, изложены в разделе 6.

Раздел 7 представляет некоторые заключительные замечания.

В Приложении I представлены некоторые предварительные соображения по поводу того, как обобщить результаты ОЯЭС и сравнить различные варианты ЯЭС.

## 2. ОБЩИЙ ОБЗОР МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Этот раздел предназначен для всех потенциальных пользователей методологии ИНПРО, включая разработчиков ядерных технологий, опытных пользователей технологий и «новичков». Он описывает соотношение методологии ИНПРО и концепции устойчивого развития, а также целостную суть методологии ИНПРО. Наконец, приведено итоговое описание требований методологии ИНПРО ко всем семи областям.

### 2.1. КОНЦЕПЦИЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ПЛАНИРОВАНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕТОДОЛОГИЯ ИНПРО

В 1987 г. Доклад Брундтланд [Brundtland][6], озаглавленный «Наше общее будущее», предупредил мир о необходимости срочного прогресса в области экономического развития, которое могло бы быть устойчивым без истощения природных ресурсов и не наносить вреда окружающей среде. Доклад определял устойчивое развитие, как:

*Развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, без ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности.*

В докладе Брундтланд признается, что для обеспечения глобальной справедливости необходим экономический рост, причем в докладе аргументированно показано, что такой рост может быть устойчивым лишь в том случае, если он будет одновременно сопровождаться охраной окружающей среды и сохранением невозобновляемых ресурсов, иными словами, это должно быть устойчивое развитие в социальном, экологическом и экономическом измерениях (называемыми тремя столпами концепции). Эта концепция устойчивого развития получила дальнейшее развитие в ходе нескольких мероприятий, проводимых под эгидой Организации Объединенных Наций, таких как Повестка дня на XXI век, Комиссия по устойчивому развитию и Оценка мировых энергетических ресурсов.

Важным итогом этой деятельности явилось осознание того, что доступность энергии по умеренной стоимости является важным требованием для обеспечения устойчивого развития. Сегодня имеются различные источники энергии, включая органические виды топлива, гидравлические электростанции, другие возобновляемые источники энергии (ветер, солнце и т.д.), а также ядерная энергетика. Исследование «планирования энергетических систем» может быть использовано для выбора оптимальной комбинации источников энергии, имеющихся в наличии в данной стране (а также на региональном или глобальном уровнях). Такое исследование можно также использоваться для определения оптимальной роли ядерной энергетика в такой структуре энергоснабжения (см. также Раздел 3.2).

Ядерно-энергетические системы на основе расщепления атома обладают достаточным потенциалом для того, чтобы обеспечить устойчивый источник энергии со способностью удовлетворить любой разумный прогноз глобальных энергетических потребностей на сотни лет, используя технологии (такие, как замкнутые ядерные топливные циклы с рециклированием и реакторами на быстрых нейтронах), которые были уже проверены и продемонстрированы, по крайней мере, в масштабе экспериментальной установки. Но, как указано во введении (Раздел 1.4), различные группы населения и отдельные лица, средства массовой информации, политические деятели и научное сообщество выражают обеспокоенность в отношении использовании ядерной энергетика, ставя под вопрос её устойчивость. Обеспокоенность вызывают такие вопросы, как безопасность, радиоактивные отходы и экономическая

конкурентоспособность; есть также тенденция связывать мирное применение ядерной энергии с распространением ядерного оружия; выражается также обеспокоенность в отношении возможности террористических атак (см., например, материалы [7, 8]). Методология ИНПРО учитывает эти вызывающие обеспокоенность вопросы, задавая цели развития ядерно-энергетических системам и требования к ним, которые, будучи полностью достигнутыми, обосновали бы заявление о том, что данная ЯЭС действительно представляет собой систему устойчивого энергоснабжения, и, таким образом, поможет обеспечить наличие такой ядерной энергетики, которая сыграла бы определенную роль в устойчивом удовлетворении энергетических потребностях в XXI веке.

Таким образом, с самого начала методология ИНПРО была связана с концепцией устойчивого развития. ИНПРО также рассматривал инновации как путь к достижению устойчивости ядерно-энергетических систем как с точки зрения разработки, так и с точки зрения их развертывания. Связь между планированием энергетических систем, ОЯЭС с использованием методологии ИНПРО и концепцией устойчивого развития схематично проиллюстрирована на рис. 1.

Как показано на рис. 1, концепция устойчивого развития предусматривает необходимость устойчивого энергоснабжения. Тогда планирование энергетической системы учитывает все возможные варианты энергоснабжения — на национальном, региональном и глобальном уровнях — чтобы определить роль ядерной энергетики в рамках системы устойчивого энергоснабжения. МАГАТЭ предоставляет несколько компьютерных моделей своим государствам-членам для того, чтобы осуществить такое планирование энергетических систем [9]. Наконец, ОЯЭС оценивает выбранную ядерно-энергетическую систему во всех соответствующих областях, чтобы подтвердить ее устойчивость или определить необходимость последующих мер, направленных на достижение устойчивости ЯЭС. Например, ядерно-энергетическая система, который не является безопасной или способствует распространению ядерного оружия — то есть, например, система, которая не выполняет требований к безопасности или к устойчивости к распространению, определенных в методологии ИНПРО — не будет приемлемой в долгосрочном плане и, таким образом, не является устойчивой энергосистемой.

## 2.2. ХОЛИСТИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Как было упомянуто во введении, для оценки устойчивости ЯЭС методология ИНПРО использует холистический подход. Характеристики этого холистического подхода кратко изложены в следующих ниже параграфах.

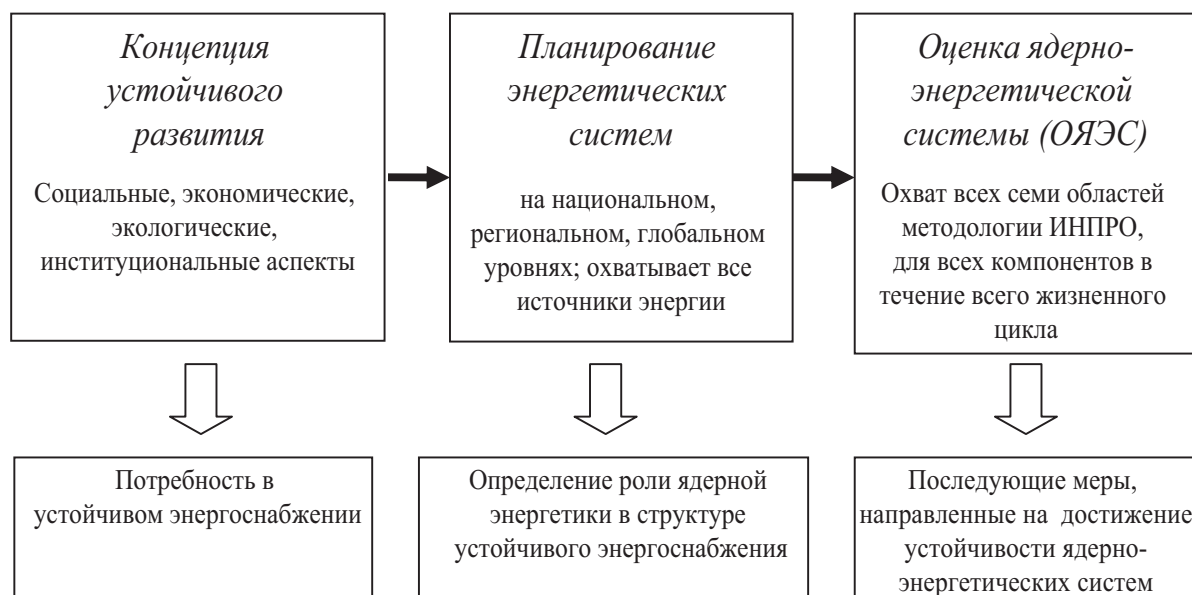


РИС. 1. Связь концепции устойчивого развития с планированием энергетических систем и с ОЯЭС.



Ядерно-энергетическая система (ЯЭС), как это определено в методологии ИНПРО, состоит из всех элементов этой ЯЭС, включая реактор, начальную стадию топливного цикла, от добычи и переработки руд, затем конверсии, обогащения и изготовления топлива, а также установки конечной стадии топливного цикла, включая переработку топлива, если это применимо, а также обращение с отходами и снятие с эксплуатации. Полный жизненный цикл всех этих элементов должен быть оценен «от колыбели до могилы». В рамках методологии ИНПРО, в состав ЯЭС также входит инфраструктура и институциональные аспекты, такие как правовая база, электросети, промышленный потенциал и кадровые ресурсы.

Методология ИНПРО, по определению, включает в рассмотрение как инновационные проекты ядерных установок, которые радикально отличаются от эксплуатируемых установок, так и эволюционные проекты, которые развились из существующих (находящихся в эксплуатации) установок. Таким образом, методология ИНПРО может использоваться как для оценки систем, планируемых к развертыванию в ближайшей перспективе, так и для систем, разрабатываемых на более отдаленную перспективу.

Как изложено более подробно в следующем разделе, были установлены требования для семи областей методологии ИНПРО — экономика, институциональные меры (инфраструктура), обращение с отходами, устойчивость к распространению, физическая защита, окружающая среда (воздействие стрессоров и доступность ресурсов), и требования безопасности, выполнение которых необходимо для достижения или поддержания устойчивости ЯЭС. Эти требования предназначаются для того, чтобы обеспечить, что все вопросы, связанные с устойчивостью ЯЭС, рассмотрены.

Подводя итог, можно сказать, что при использовании холистического подхода методологии ИНПРО, рассматривается ядерно-энергетическая система в целом - реактор вместе с начальной и конечной стадиями ядерного топливного цикла, включая институциональные меры (инфраструктуру) - в течение ее полного жизненного цикла с учетом всех проблем, связанных с устойчивостью ядерно-энергетической системы.

### 2.3. ТРЕБОВАНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Требования методологии ИНПРО организованы в соответствии с иерархией или архитектурой основных принципов (ОП), требований пользователей (ТП), и критериев (К). Последние включают в себя индикаторы (И) и пределы приемлемости (ПП).

В определенной области, такой как экономика, «основной принцип» устанавливает плановую цифру или цель, которая должна быть достигнута, если ЯЭС в долгосрочном плане должна быть устойчивой энергетической системой. «Требования пользователей» определяют то, что нужно сделать, чтобы достичь плановой цифры или цели «основного принципа»; они направлены на конкретные учреждения, участвующие в развитии, развертывании и эксплуатации ядерной энергетики, такие как проектные и конструкторские организации, правительства, эксплуатирующие установки организации и вспомогательные отрасли промышленности. «Критерии» используются специалистами по оценке для определения того, были ли выполнены «требования пользователей» и, следовательно, соблюдены ли «основные принципы» конкретными организациями, принимающими участие в ядерно-энергетической программе. Общие особенности методологии ИНПРО представлены в томе 1 Руководства ИНПРО [1].

ИНПРО разработал один основной принцип в области экономики, который говорит о том, что, в принципе, ядерная энергия и связанные с ней продукты должны быть доступными как в смысле наличия, так и в смысле цены для всех потенциальных пользователей. Соответствующие требования пользователя требуют, что для того, чтобы быть устойчивыми в рамках страны (или региона, или всего мира) электрическая или тепловая энергия, выработанные ЯЭС, могли быть конкурентноспособными по цене с местными альтернативными источниками энергии, такими как возобновляемые энергоисточники (гидроэнергетика, гелио- и ветроэнергетика и т.д.) или теплоэлектростанциями на ископаемом топливе. Также категорически необходимо, чтобы имелась возможность привлечения в полном объеме инвестиционных фондов, необходимых для проектирования, строительства и введения в эксплуатацию ЯЭС, и чтобы риск инвестиций в ЯЭС являлся приемлемым по сравнению с инвестициями в другие национальные энергетические проекты. Наконец, инновационные ядерно-энергетические системы должны обладать гибкостью, позволяющей удовлетворять требования различных (или изменяющихся) рынков. В



области экономики требования методологии ИНПРО направлены, прежде всего, на разработчиков проектов и ядерных технологий, но, в определенной степени, и на правительства. Экономика рассматривается в Томе 2 Руководства ИНПРО [1].

ИНПРО определил один основной принцип в области институциональных мер (или инфраструктуры), призывающий к ограничению усилий, необходимых для создания (и поддержания) соответствующей инфраструктуры в стране, которая намеревается создать (или поддерживать, или развивать) ЯЭС. Этого следует достигать на пути региональных и международных договоренностей, которые должны быть открыты для участия таких стран. Соответствующие требования пользователя признают необходимость:

- создания и поддержания соответствующей национальной правовой базы, включая международные обязательства;
- определения промышленной и экономической инфраструктуры, необходимой для ядерно-энергетической программы;
- планирования соответствующих мер, необходимых для обеспечения общественного восприятия и принятия политических обязательств;
- изучения наличия соответствующих кадровых ресурсов.

Относительно институциональных мер, требования методологии ИНПРО адресованы, прежде всего, правительствам, организациям, эксплуатирующим ядерные установки, и национальной промышленности. Институциональные меры рассматриваются в томе 3 Руководства ИНПРО[1] <sup>2</sup>.

В области обращения с отходами, из девяти фундаментальных принципов Обращения с радиоактивными отходами МАГАТЭ<sup>3</sup> были выведены четыре основных принципа. Таким образом, для достижения устойчивости ЯЭС, образование ядерных отходов на стадии проектирования должно быть сведено к практически возможному минимуму, а обращение с отходами должно осуществляться таким образом, чтобы обеспечить приемлемый уровень защиты здоровья человека и окружающей среды вне зависимости от времени или места воздействия; при этом обращение с отходами должно осуществляться так, чтобы на будущие поколения не было наложено чрезмерного бремени; также следует учитывать взаимозависимость между образованием всех отходов и мерами управления. Эти основные принципы, в свою очередь, приводят к формированию следующих требований пользователей:

- минимизация образования отходов, с уделением особого внимания отходам, содержащим долгоживущие токсичные компоненты, которые сохранили бы мобильность в среде пункта (окончательного) захоронения;
- ограничение радиационного и химического воздействия отходов;
- определение постоянно безопасного конечного состояния для всех отходов, и перевод отходов в это состояние настолько быстро, насколько это практично;
- классификация отходов и обеспечение того, чтобы промежуточные шаги не предотвратили или не усложнили достижение конечного состояния;
- накопление активов для управления всеми отходами в течение жизненного цикла таким образом, чтобы на любой стадии жизненного цикла активов было бы достаточно для покрытия накопленных обязательств.

В области обращения с отходами, требования методологии ИНПРО направлены не только на проектантов и операторов ядерных установок (в том числе реакторов, установок по изготовлению топлива и т.д.) и установок для обращения с отходами (в том числе хранилищ отходов, установок по их сжиганию и т.д.), но также и на правительства. Обращение с отходами рассматривается в томе 4 Руководства ИНПРО [1].

---

<sup>2</sup> Соотношения между методологией ИНПРО и «методом вех» обсуждены в разделе 4.5.

<sup>3</sup> Они изложены в [10], и были с тех пор заменены основополагающими принципами безопасности [11], опубликованными в 2006 году.

В области защищенности от распространения (ЗР), ИНПРО выработал один основной принцип, который требует, чтобы внутренне присущие свойства всегда осуществлялись совместно с внешними мерами в ЯЭС в течение всего жизненного цикла. Внутренне присущие свойства защищенности от распространения ЯЭС определяются такими проектными и конструктивными особенностями, как простота проведения осмотра, в то время как внешние меры по защите от распространения включают в себя обязательства, взятые государствами, например, соглашения о гарантиях. Соответствующие требования пользователя просят государства создавать и поддерживать достаточную правовую базу, а проектантов – свести к минимуму привлекательность ядерного материала (ЯМ), сделав переключение ЯМ трудным и легко обнаружимым, а также установить множественные барьеры против переключения ЯМ и осуществите экономически эффективные меры гарантий. В области защищенности от распространения требования методологии ИНПРО направлены, прежде всего, на правительства и проектантов. Устойчивость к распространению рассматривается в томе 5 Руководства ИНПРО [1].

Один основной принцип, разработанный ИНПРО в области физической защиты (или физической безопасности), предусматривает действенное и эффективное осуществление режима физической защиты в течение всего жизненного цикла ЯЭС. Соответствующие требования пользователя базируются на фундаментальных принципах Конвенции о физической защите ядерного материала (с изменениями). Они охватывают четыре общих области режима физической защиты: (1) законодательные и регулирующие основы; (2) расположение, компоновка и проектирование ядерных установок с учетом физической защиты; (3) проект системы физической защиты, способной защитить против злоумышленных действий; и (4) планирование на случай непредвиденного развития событий смягчение последствий злоумышленных действий. Требования по физической защите предназначаются, прежде всего, для оценки новых ядерных установок, которые будут созданы в будущем. В области физической защиты, требования методологии ИНПРО направлены, в первую очередь, на правительства и на операторов ядерных установок. Физическая защита рассматривалась в томе 6 Руководства ИНПРО [1].

В области окружающей среды методология ИНПРО рассматривает два аспекта, а именно:

- выбросы от ЯЭС в окружающую среду, которые представляют собой экологические стрессоры, такие как выбросы радионуклидов или токсичных химических веществ;
- потребляемые ЯЭС ресурсы, что может привести к обеднению природных ресурсов, таких как уран, цирконий и т.д.

Поэтому, ИНПРО разработал два основных принципа в этой области. Первый основной принцип гласит, что воздействие на человека и на окружающую среду, которое вызывают ядерные установки, должно иметь приемлемый уровень, а второй основной принцип требует подтверждения долгосрочной доступности и оптимального использования материальных ресурсов, необходимых для эксплуатации ЯЭС. Два требования пользователя, соответствующие первому экологическому основному принципу, стремятся удерживать такие экологические стрессоры, как выбросы и воздействие радиоактивных веществ от ядерной установки, в пределах соответствующих<sup>4</sup> стандартов (таких, как национальные нормативные пределы) и, дополнительно, применять концепцию ALARP<sup>5</sup>. Первое требование пользователя, связанное со вторым экологическим основным принципом, призывает к доступности делящихся и воспроизводящих материалов, необходимых для изготовления ядерного топлива и материалов, необходимых для строительства и эксплуатации ядерных установок на период, по меньшей мере, 100 лет, а также призывает к улучшению использования таких материалов по сравнению с ядерными системами, находившимися в эксплуатации в 2004 году. Второе требование пользователя, прежде всего, призывает к тому, чтобы выработанная ЯЭС энергия была адекватна энергии, затраченной на строительство и эксплуатацию ЯЭС. В области окружающей среды, требования методологии ИНПРО направлены, прежде всего, к проектирует ЯЭС. Вопросы окружающей среды рассмотрены в томе 7 Руководства ИНПРО [1].

---

<sup>4</sup> Термин «соответствующий» означает стандарт, действующий во время строительства новой ядерной установки.

<sup>5</sup> ALARP означает «практически целесообразный низкий уровень с учетом экономических и социальных факторов». Эта концепция изложена более подробно в разделе 4.3.2 Тома 1, см. [1].

ИНПРО разработал четыре основных принципа в области ядерной безопасности на базе основополагающих принципов безопасности МАГАТЭ [11], требований, предъявляемых к энергопредприятиям, таких, как Требования ЭПРИ в отношении энергопредприятий, эксплуатирующих усовершенствованный легководный реактор, и на экстраполяции современных тенденций, исходя из допущения о значительном расширении ядерной энергетики в XXI веке. Первый основной принцип призывает к расширенному применению концепции глубокоэшелонированной защиты ГЭЗ, с большей независимостью для разных уровней защиты в пределах стратегии ГЭЗ. Соответствующие требования пользователя являются рекомендациями по поводу того, как проектанты и конструкторы могут достигнуть более высокого уровня безопасности по сравнению с референтным проектом (в этом случае, референтной является последняя модель ядерных установок, работающих в конце 2004 г.) посредством интенсивного применения концепции ГЭЗ на каждом из ее пяти уровней. Второй основной принцип и соответствующие требования пользователя призывают к тому, чтобы разработчики проекта — в соответствующих случаях — рассматривали расширенное использование пассивных систем и внутренне присущих свойств безопасности, чтобы свести опасности к минимуму и, при возможности, избежать их. Третий основной принцип устанавливает цель высокого уровня, призывая проектантов к тому, чтобы они сократили уровни риска ядерной установки в отношении радиационного облучения персонала и населения таким образом, чтобы этот риск был бы сопоставим с риском от других промышленных установок аналогичного предназначения (таких, как электростанции на угле или нефтеперерабатывающие заводы). Четвертый основной принцип и его требования пользователя призывают к достаточному уровню НИОКР в отношении новых проектов ЯЭС, чтобы довести уровень знания характеристик АЭС и потенциала аналитического инструментария, по меньшей мере, до того же самого доверительного уровня, что и для референтной АЭС (которая является последней моделью станции, работающей в конце 2004 г.).

Первый, второй и четвертый основные принципы оцениваются, прежде всего, путем сравнения оцениваемой установки с референтным проектом, в этом случае, с ядерной установкой, находящейся в эксплуатации на конец 2004 г. В области безопасности, требования методологии ИНПРО направлены почти исключительно на разработчиков проектов ЯЭС. В то время как основные принципы и требования пользователя в области безопасности могут применяться как к реакторам, так и к установкам топливного цикла, различия между такими установками требуют различных критериев. Таким образом, область безопасности рассматривалась в двух томах Руководства ИНПРО [1]: том 8 имеет дело с безопасностью реакторов, а том 9 поднимает вопросы безопасности установок топливного цикла.

Для каждого требования пользователя методологии ИНПРО кратко изложенного выше, был разработан, по меньшей мере, один критерий, позволяющий оценщику, применяющему данную методологию, проверить, выполнили ли соответствующие участники, такие, как разработчики проекта, операторы, правительства и национальные отрасли промышленности, требования пользователей. Если все требования пользователей основного принципа были выполнены, оцененная ЯЭС достигнет плановых показателей/цели соответствующего основного принципа.

Если многосторонняя и холистическая оценка показывает, что для данной ЯЭС и для данного референтного плана энергетической системы все критерии ИНПРО соблюдены во всех областях, тогда эта ЯЭС представляет собой устойчивую энергетическую систему (см. рис. 1). План энергетической системы может соотноситься с государственным планом, региональным или глобальным сценарием развития энергетики.

Следует отметить, что даже в случае неполного соответствия всем требованиям методологии ИНПРО, данная ЯЭС может быть, тем не менее, превосходной системой энергоснабжения в течение определенного периода времени. Однако следует своевременно предпринять действия, направленные на приведение ЯЭС к устойчивости, более или менее в соответствии с концепцией постоянного совершенствования. Результаты ОЯЭС не определяют подробностей желательных действий, они скорее указывают на необходимость действий и разъясняют специфические вопросы, которые должны быть рассмотрены.

Важно отметить, что требования методологии ИНПРО не представляют собой стандарта МАГАТЭ. Они, скорее, обеспечивают средство оценки устойчивости ЯЭС в контексте референтного плана энергетической системы.

### 3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

Данный раздел применим ко всем потенциальным пользователям методологии ИНПРО, включая разработчиков технологий, опытных пользователей технологий и «новичков». В нем представлены руководство по тому, как использовать методологию ИНПРО, а также обобщенная процедура выполнения полномасштабной ОЯЭС.

#### 3.1. ОБЛАСТЬ ОХВАТА И ГЛУБИНА ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО

В принципе, методология ИНПРО может применяться с разными степенями глубины и охвата. Например, такой подход применим к:

- изучению методологии ИНПРО во всех областях, сосредоточиваясь на ключевых идеях основных принципов и требований пользователя (но не выполняя оценку), иными словами, используя методологию как обучающее средство с целью «повышения информированности о долгосрочных проблемах устойчивого развития ядерно-энергетических систем;
- выполнению «ОЯЭС с ограниченным охватом», например, проведению углубленной оценки ЯЭС или ее отдельного компонента (установки) в выбранных областях методологии ИНПРО на уровне критерия, вместе с рассмотрением всех других областей;
- выполнению углубленной «полномасштабной всеобъемлющей ОЯЭС», охватывающей все компоненты ЯЭС, и всех областей методологии на уровне критерия.

В разделе 1.2 были представлены потенциальные пользователи методологии ИНПРО, в число которых входят разработчики ядерных технологий, опытные пользователи технологий и «новички». Для стран-«новичков» на различных стадиях развития в рамках новой ядерно-энергетической программы могут быть использованы все три представленные выше применения методологии ИНПРО (обсуждаемые далее в разделе 4). Для опытных пользователей и разработчиков ядерных технологий более полезными являются второе и третье применение методологии ИНПРО, представленные выше.

Ниже более подробно представлены эти различные применения методологии ИНПРО с учетом ответной реакции стран, уже выполнивших такие исследования [5].

Благодаря холистическому характеру методологии ИНПРО (Раздел 2.2), изучение документации ИНПРО может оказаться полезным занятием для стран-«новичков», поскольку на ранней стадии это позволяет достичь понимания множества долгосрочных проблем, которые необходимо учитывать, чтобы построить устойчивую систему ядерной энергетики. Это, конечно, не обеспечивает выработки суждения относительно долгосрочной устойчивости национальной ядерной программы, но может способствовать принятию решений и формулированию национальной энергетической политики (что обсуждается далее в разделе 4).

Очевидно, что выполнение «ОЯЭС с ограниченным охватом», прежде всего, полезно для разработчиков ядерных технологий, которые заинтересованы только в одном компоненте (установке) ЯЭС, таком, как разрабатываемая конструкция реактора и (или) выбранные области. Такой специалист по оценке, возможно, пожелает исследовать область ограниченного интереса для того, чтобы узнать, имеются ли пробелы или проблемы, подлежащие рассмотрению. Например, можно было бы оценить конструкцию реактора в области экономики, чтобы определить ее экономическую конкурентоспособность, делая определенные предположения о ценах на топливо, о затратах на обращение с отходами и т.д. При выполнении такой ОЯЭС с ограниченным охватом, следуют также проверить и другие области ИНПРО и компоненты ЯЭС, для того, чтобы обеспечить, что предложенные инновации не воздействуют отрицательно на другие области или компоненты ИНПРО и обеспечить сбалансированную, целостную точку зрения. ОЯЭС с ограниченным охватом может также быть полезной для страны-«новичка» на продвинутой стадии разработки ядерно-энергетической программы (обсуждается далее в разделе 4.3).

Третий тип ОЯЭС, «полномасштабная всеобъемлющая ОЯЭС», состоит из оценки всех областей ИНПРО (экономика, отходы, безопасность и т.д.) на уровне критерия, и предназначается, чтобы определить устойчивость выбранной ЯЭС, включая ее варианты. В случае если такие ОЯЭС определяют пробелы в ядерно-энергетической программе, следует определить последующие меры, направленные на приведение ЯЭС к устойчивости.

### 3.2. ВЫПОЛНЕНИЕ ПОЛНОМАСШТАБНОЙ ВСЕОБЪЕМЛЮЩЕЙ ОЯЭС

В целом, выполнение полномасштабной ОЯЭС требует соблюдения следующих необходимых условий:

- выполнено исследование планирования энергетических систем, которое определяет роль или вклад ядерной энергетики в удовлетворение прогнозируемых энергетических потребностей страны (или региона, или всего мира);
- была организована группа оценки;
- были установлены характеристики ЯЭС на основе роли ядерной энергетики, определенной при планировании энергетической системы;
- были определены охват и цель ОЯЭС.

#### 3.2.1. Планирование энергетических систем

По существу, планирование энергетических систем не является частью ОЯЭС, но является предварительным условием, которые следуют выполнить прежде, чем произвести ОЯЭС. Кроме того, следует использовать самый последний из имеющихся планов развития энергетики, поскольку прогнозы спроса и предложения в энергетике изменяются со временем. Планирование энергетических систем определяет будущую роль или потенциальный вклад ядерной энергетики в удовлетворение прогнозируемого роста спроса на энергетику в стране [9].

Как показано на рис. 2, результаты полномасштабной ОЯЭС могут оказать влияние на планирование энергетических систем и потребовать пересмотра плана развития энергетики. Например, если план развития энергетики предполагает, что ядерная энергетика будет введена в эксплуатацию в некоторый момент времени, но результаты ОЯЭС показывают, что создание необходимой инфраструктуры потребует большего количества времени, то необходимо внести изменения в план развития энергетики. Планирование энергетических систем обсуждено более подробно в [1] (глава 5 тома 1 Руководства ИНПРО) и в [9]. МАГАТЭ может предоставить помощь в планировании систем энергетики.

#### 3.2.2. Группа оценки

Отправной точкой в выполнении ОЯЭС является сбор и обучение необходимой группы оценки. Как отмечено, первоначальный замысел методологии ИНПРО состоит в том, чтобы выполнить всеобъемлющую и комплексную оценку ЯЭС, учитывая все области ИНПРО, включая институциональные меры (инфраструктуру), и все компоненты ЯЭС в течение всего жизненного цикла, включая реактор, начальную стадию топливного цикла, начиная с добычи руд, и конечную стадию топливного цикла, включая обращение с отходами и снятие с эксплуатации.

Выполнение такой полномасштабной всеобъемлющей ОЯЭС требует участия значительного количества лиц, обладающих компетенцией в различных областях методологии ИНПРО и некоторыми знаниями в области ядерных установок, включая ЯЭС; требуется такая группа оценки, которая смогла бы рассмотреть все критерии во всех областях. Как правило, в такую группу входят эксперты из правительственных организаций и университетов, академических обществ и научно-исследовательских институтов. Некоторые эксперты могут быть членами группы оценки, в то время как другие могут вносить вклад в ОЯЭС время от времени, по мере необходимости. Но внутри самой группы оценки на каждого индивидуального эксперта должна быть возложена ответственность за одну или несколько областей методологии ИНПРО, чтобы охватывались все области. Кроме того, необходимо назначить руководителя



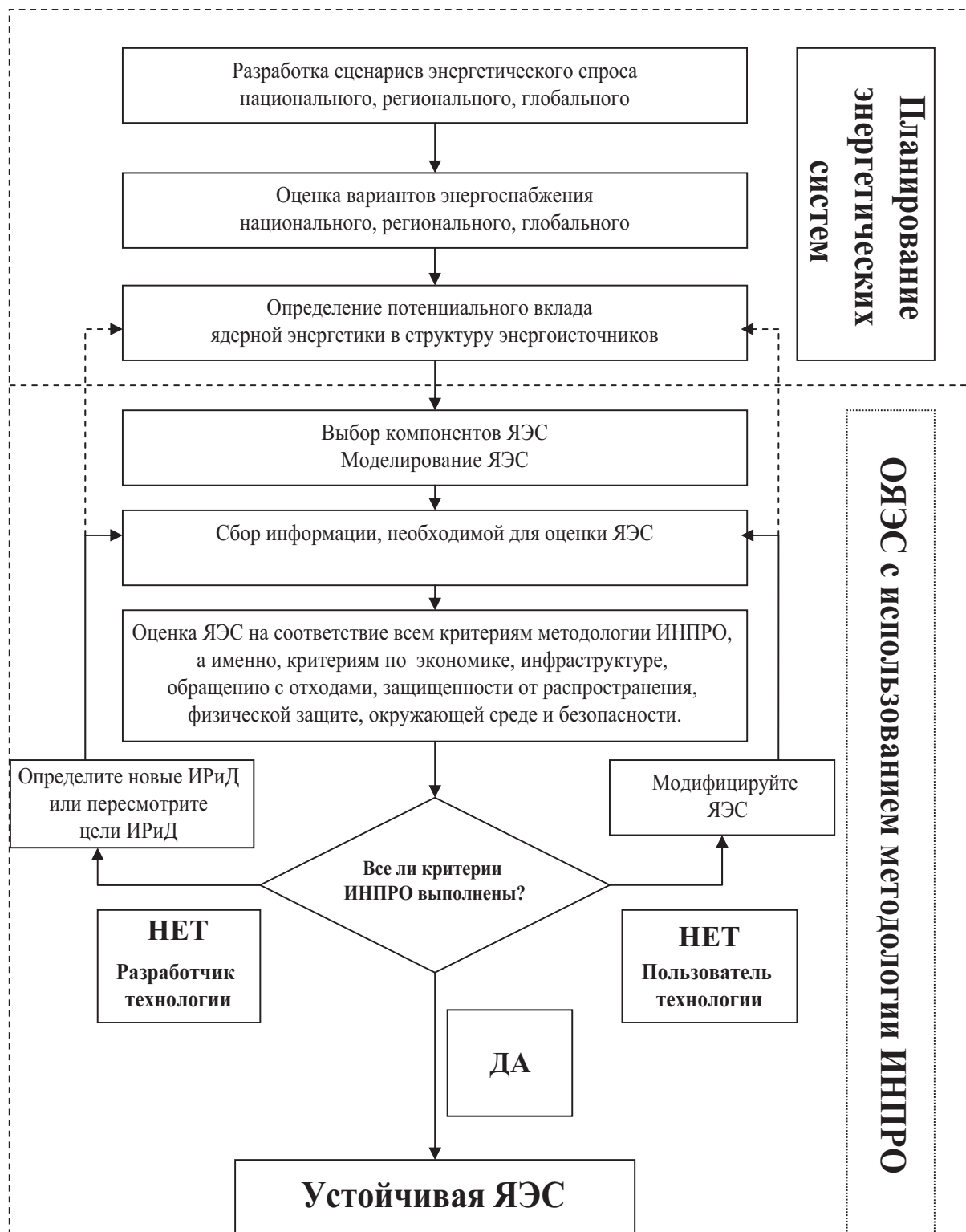


РИС. 2. Шаги планирования энергетических систем и полномасштабная ОЯЭС с использованием методологии ИНПРО (Том 1 см. [1]).

группы или менеджера проекта, на которого возлагается общая ответственность за ОЯЭС. Группа оценки должна сформировать общее понимание методологии ИНПРО, оцениваемой ЯЭС, области охвата ОЯЭС и ОЯЭС непосредственно, чтобы получить последовательную и всеобъемлющую оценку.

Эффективная коммуникация играет весьма важную роль в успешном осуществлении ОЯЭС, включая внутреннюю связь среди членов группы, а также внешние связи между группой и Секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО<sup>6</sup>, группой и органом по планированию энергетики, и группой и другими экспертами, которые время от времени принимают участие в работе группы или предоставляют информацию, необходимую для исследований.

### **3.2.3. Характеристики ЯЭС**

Как указано, для ОЯЭС требуется определить характеристики ЯЭС. ЯЭС может быть реально существующей системой или только планируемой системой. В принципе, в нее должны быть включены все установки, которые требуются для производства ядерной энергии независимо от того, расположены они внутри страны или за ее пределами. Одна из причин таких действий состоит в том, чтобы быть в состоянии снять озабоченности в отношении того, что национальная программа, которая использует установки в других странах, такие как поставляющие топливо или уран, могут наносить вред стране-поставщику, например, в виде ущерба окружающей среде. ЯЭС может состоять из ряда атомных электростанций (АЭС), некоторые из которых могут уже находиться в эксплуатации, а некоторые – быть намеченными к вводу в эксплуатацию в соответствии с графиком, предусмотренным в референтном плане развития энергетики, и связанном с ними предприятиями ядерного топливного цикла. Варианты ЯЭС, подлежащие рассмотрению, могут включать различные типы реакторов и топливных циклов. Группа оценки может сама определить характеристика ЯЭС, либо они могут быть определены в результате проведения исследования в области планирования энергетики.

### **3.2.4. Область охвата ОЯЭС**

Различные возможные области охвата ОЯЭС были обсуждены в разделе 3.1. В принципе, выполнение полномасштабной, всеобъемлющей ОЯЭС требует рассмотрения полной ЯЭС со всеми установками топливного цикла, в течение всего жизненного цикла, по всем областям ИНПРО на полную глубину (на уровне критерия).

## **3.3. ВЫПОЛНЕНИЕ ОЯЭС**

Если предположить, что планирование энергетических систем осуществлялось в той мере, в какой это необходимо, чтобы определить характеристики ЯЭС (см. рис. 2), что область охвата ОЯЭС была определена, по меньшей мере, в предварительном порядке, и что группа оценки была создана, то группа должна начать свою работу с ознакомлением с методологией ИНПРО. Все члены группы должны прочитать все соответствующие разделы этой публикации и Том 1 Руководства ИНПРО [1]. Отдельные эксперты, ответственные за определенную область методологии ИНПРО, должны изучить соответствующий том Руководства ИНПРО [1], который рассматривает эту область.

Группа специалистов по оценке должна принимать участие именно как группа, в учебных занятиях, предлагаемых секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО, в рамках пакета поддержки ОЯЭС (см. раздел 1.5). В рамках этого учебного процесса члены группы должны задавать инструкторам вопросы, которые возникли у них в ходе самостоятельного изучения материалов. Обучение должно привести к общему пониманию проблем. В ходе обучения следует определить источники информации, необходимые для ОЯЭС, включая Источники информации, требуемые для ОЯЭС, следуют также быть определенными в обучении, включая обзоры информационных банков данных МАГАТЭ. При переходе группы к выполнению ОЯЭС, следуют

---

<sup>6</sup> Секретариат МАГАТЭ/ИНПРО управляет группой МАГАТЭ/ИНПРО.

поддерживать контакт с группой МАГАТЭ/ИНПРО<sup>7</sup>, в частности, для решения вопросов и обсуждения проблем при их возникновении.

### 3.4. ПОСЛЕДУЮЩИЕ МЕРЫ ПОСЛЕ ОЯЭС

Результат полномасштабной ОЯЭС – подтверждение того, что оцененная ЯЭС соответствует всем критериям методологии ИНПРО, и тогда оцененная ЯЭС устойчива, либо определение того, что ЯЭС всем критериям не соответствует, и в этом случае следует определить последующие меры для устранения выявленных пробелов. В последнем случае, и в зависимости от того, является ли специалист по оценке разработчиком технологии или пользователем/заимствователем технологии, имеются несколько возможных путей действий.

В случае разработчика технологии, действия могут включать переформулирование целей НИОКР или определение дополнительных, необходимых ИРиД<sup>8</sup> для ЯЭС (или ее компонентов), чтобы соответствовать всем критериям методологии ИНПРО, исходя из предположения, что ЯЭС (или ее компонент) в других отношениях привлекательна.

Если определенная информация о проекте, необходимая для оценки критерия методологии ИНПРО, отсутствует из-за того, что разработка находится на ранней стадии, то в качестве последующих действий следует предусмотреть приобретение такой информации в соответствующее время. Эта ситуация далее обсуждается в разделе 6.

Пунктирная линия в левой части рис. 2 (между прямоугольниками «Определите новые ИРиД ...» и «Определение потенциального вклада ядерной энергетики...») указывает, что как результат успешных ИРиД, роль ядерных технологий в энергетическом балансе может быть пересмотрена, что может, например, привести большему вкладу ядерной энергии.

В случае пользователя технологии последующие меры могут включать следующее:

- выбор альтернативной ЯЭС (или альтернативной ядерной установки), способной выполнить все требования методологии ИНПРО, например, менее габаритный (более компактный) энергоблок с лучшей экономикой;
- внесение модификаций в ядерно-энергетический план, например, чтобы задержать введение в строй новых АЭС;
- принимая ЯЭС в качестве удовлетворительного временный источник энергоснабжения, одновременно поддерживать инновации со стороны разработчиков технологии с целью улучшения характеристик компонентов, которые в будущем могут быть добавленными в ЯЭС либо замененными в ней.

Нехватка доступных данных, необходимых для оценки критерия методологии ИНПРО, не должна автоматически приводить к решению о несоблюдении этого критерия; в этом случае следуют проконсультироваться с секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО для поддержки (см. раздел 5 для более детального обсуждения).

Пунктир на правой стороне рис. 2 относится ко второму буллиту вышеприведенного перечня, касающегося пересмотра роли ядерной энергетики в планировании энергетической системы.

### 3.5. ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ ОЯЭС

Результаты ОЯЭС должны быть задокументированы в отчете, который, как минимум, должен предоставлять информацию о следующем:

---

<sup>7</sup> Группа МАГАТЭ/ИНПРО расположена в офисах МАГАТЭ в Вене, Австрия. Она состоит из экспертов, знакомых с методологией ИНПРО.

<sup>8</sup> ИРиД означает «исследование, разработка и демонстрация».



- цель ОЯЭС и ее охват;
- рассматриваемый референтный план развития энергетики и прогнозируемая роль ядерной энергетики;
- ядерно-энергетическая система, выбранная для оценки;
- общий подход, которого придерживается группа оценки;
- источники информации для каждой области методологии ИНПРО, включенные в исследование;
- общие выводы, полученные для каждой области методологии ИНПРО, включенные в исследование на уровне требований пользователя и основных принципов, и обоснование этих выводов;
- подробности оценок всех оцененных критериев и обоснование этих оценок, возможно, изложенное в дополнении;
- рекомендации, включая рекомендации относительно действий в том случае, когда определены пробелы;
- обратная связь, получаемая группой МАГАТЭ/ИНПРО по процессу оценки и рекомендациям относительно улучшения методологии ИНПРО, и пакет поддержки ИНПРО ОЯЭС.

### 3.6. РАССМОТРЕНИЕ ОЯЭС

По завершении исследования, группа оценки, возможно, захочет предоставлять свой доклад для рассмотрения группой МАГАТЭ/ИНПРО. В таком случае, рекомендуется, чтобы содержание доклада и информация, которая будет в него включена, были обсуждены на ранней стадии с группой МАГАТЭ/ИНПРО, и чтобы проект доклада был представлен для рассмотрения прежде, чем он будет завершен.

## 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ИНПРО СТРАНОЙ —«НОВИЧКОМ»

Этот раздел применим к странам-«новичкам». В нем содержится руководство по применению дифференцированного подхода к использованию методологии ИНПРО как инструмента изучения, необходимого для обеспечения понимания долгосрочных вопросов ядерной энергетики, а также при выполнении ОЯЭС.

Любая страна, которая заинтересована в устойчивости национальной ядерной программы, получит пользу от мониторинга глобальных ядерных тенденций, чтобы проанализировать их воздействие на отечественную ядерную энергетику. Для поддержки принятия решений на высоком уровне, страны могут использовать советников, привлеченных из правительственных организаций, университетов, академических обществ и научно-исследовательских институтов, а также опытных в ядерной энергетике консультантов. Такие советники могут использовать методологию ИНПРО в качестве инструмента оценки устойчивости ядерно-энергетической системы на перспективу от 50 до 100 с лишним лет. Этот подход может также использоваться в качестве образовательного инструмента в университетах и технических школах с ядерно-энергетическими программами, как это уже делается в ряде государств-членов ИНПРО.

Обеспечение понимания проблем ядерной энергетики путем применения методологии ИНПРО может также вносить определенный вклад в исследования типа технико-экономических обоснований, выполняемых при формулировании национальной энергетической политики. Такая политика должна обосновывать включение ядерной энергетики в национальную систему энергоснабжения и объяснять как выгоды, так и соответствующие риски всех вариантов энергоснабжения. Учет долгосрочных аспектов ядерной энергетики, таких, как обращение с отходами, является необходимым для такой политики, и рекомендуется для того, чтобы достичь долгосрочного общественного принятия ядерной энергетики.

В документации методологии ИНПРО см. [1] (Раздел 3.4.1 в томе 3 Руководства ИНПРО) кратко изложены главные особенности такой политики. Кроме того, в таблицах входных данных, которые

являются частью пакета поддержки ОЯЭС (см. раздел 1.5), показаны несколько связей с вебсайтами - что обеспечивают восприятие текста национальной ядерно-энергетической политики на нескольких языках в качестве примеров хорошей практики.

#### 4.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ПОДХОДА

Было признано, что применение методологии ИНПРО в полномасштабном ОЯЭС требует от страны-«новичка» больших усилий, потому что они сосредотачивают внимание на создании своих национальных ядерных инфраструктур. Поэтому в отношении применения методологии ИНПРО предлагается «дифференцированный подход». Дифференцированный подход к применению методологии ИНПРО может быть определен, как выбор для оценки определенных основных принципов ИНПРО, требований пользователя и критериев, как в горизонтальном направлении (сосредоточиваясь на выбранных областях методологии ИНПРО), так и в вертикальном направлении (выбирая глубину оценки требований), соразмерно информации, имеющейся по ЯЭС, количеству требований ИНПРО, что желает оценить пользователь, и уровню детализации, желательному в результатах и выводах. Это определяет уровень затрачиваемых усилий.

Предложенный дифференцированный подход связан, прежде всего, с состоянием разработки национальной ядерно-энергетической программы в стране-«новичке». В самом начале ядерно-энергетической программы ознакомление с сущностью методологии ИНПРО (выраженной в ключевых идеях и в обосновании ее основных принципов, а также в требованиях пользователя во всех областях ИНПРО), должно быть достаточным для выработки общего взгляда на долгосрочные проблемы ядерной энергетики. Такая деятельность может явиться частью «создания понимания» в стране. Со временем, увеличивающийся уровень детализации критериев методологии ИНПРО также может быть принят во внимание. Если в стране имеются необходимые кадровые ресурсы, то можно выполнить ОЯЭС с ограниченной областью охвата. Затем, по мере развития ядерной программы, можно начать выполнение полномасштабной ОЯЭС. Такой уровень развития обычно достигается, как страна приобретает опыт в планировании, создании и эксплуатации атомной электростанции. Как только страна приобретает опыт во всех этих видах деятельности, она уже больше не считается «новичком». Такое применение методологии ИНПРО осуществляет философию «обучения на практике».

Глубина, до которой может использоваться методология ИНПРО, зависит от типа участвующей организации. Академические общества, университеты и исследовательские организации должны наработать базовую информацию в обоснование рекомендаций, представляемых принимающим решения лицам, что требует более детального знания вопросов ядерной энергетики, рассматриваемых в методологии ИНПРО. Для принимающих решения лиц и их старших советников важно осознать удовлетворением холистический характер методологии ИНПРО, который подчеркивает необходимость достижения целей, изложенных в основных принципах всех областей методологии ИНПРО, для обеспечения устойчивости ядерно-энергетической программы.

#### 4.2. ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМИРОВАННОСТИ О ПРОБЛЕМАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Один из наиболее важных видов деятельности для страны, начинающей национальную ядерно-энергетическую программу, должен состоять в повышении информированности о соответствующих долгосрочных проблемах, сопутствующих устойчивой ядерно-энергетической системе. Благодаря ее всеобъемлющему и холистическому подходу, для данной цели может использоваться методология ИНПРО.

Каждый из девяти томов Руководства ИНПРО [1] содержит значительное количество справочной информации<sup>9</sup>, которая может служить для того, чтобы ознакомить читателя с конкретными темами в пределах каждой области методологии ИНПРО. Кроме того, вспомогательная документация также

---

<sup>9</sup> Планируется подготовка отдельной, новой публикации, содержащей только справочную информацию (см. [1]).

снабжена ссылками. В рамках дифференцированного подхода, специалисты соответствующего уровня из национальных (прежде всего, академических) организаций, участвующие в ядерно-энергетической программе, могут ознакомиться с методологией ИНПРО тех областей, за которые они отвечают. На этой ранней стадии программы, достаточным будет понимание основных принципов в каждой предметной области. Со временем, нужно будет учитывать детали, связанные с требованиями пользователя, и, наконец, уровни критерия методологии ИНПРО. Нужно отметить, что нет необходимости проводить действительную оценку для создания понимания; изучение справочной информации должно быть достаточным. Для создания понимания не требуется разработка официального документа или доклада, но это остается на усмотрение отдельных государств-членов.

#### **4.2.1. Состав группы оценки**

Группа может состоять из отдельных представителей научных кругов и правительственных организаций с некоторым базовым объемом знаний в каждой из областей методологии ИНПРО, включая экономику, институциональные меры (инфраструктуру), обращение с отходами, устойчивость к распространению, физическую защиту, окружающую среду и безопасность. Несмотря на то, что не требуется детального знания ядерно-энергетической технологии, страна должна использовать свою существующую базу знаний. Таким образом, если у страны имеется реальный опыт в ядерной области, включая, например, эксплуатацию исследовательского реактора, было бы полезным включить в состав группы оценки специалистов из таких программ.

#### **4.2.2. Определение характеристик ЯЭС**

Для такой деятельности нет необходимости определять ЯЭС, специфичную для данной страны, поскольку предполагается, что все вопросы ядерной энергетики изучены без привязки к изучению специфического проекта ядерной установки.

#### **4.2.3. Поддержка, оказываемая секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО**

Как было упомянуто в разделе 1.5, секретариат МАГАТЭ/ИНПРО предлагает обучение методологии ИНПРО в рамках пакета поддержки ОЯЭС. Семинары-практикумы могут проводиться в различных странах, давая общий обзор и объяснения по методологии ИНПРО, а также введение в базовую информацию, представленную в Руководстве ИНПРО [1].

### **4.3. ОЯЭС С ОГРАНИЧЕННОЙ ОБЛАСТЬЮ ОХВАТА**

В зависимости от эволюции национальной ядерной программы и доступности надлежащих национальных ресурсов и технического потенциала, страна может выполнять ОЯЭС с ограниченной областью охвата. Как было упомянуто в разделе 2.3, в семи областях методологии ИНПРО выдвигаются требования, направленные на различные типы заинтересованных сторон в ядерно-энергетической программе. В некоторых областях, таких как безопасность, требования методологии ИНПРО, прежде всего, направлены на разработчиков проектов ядерных установок. Однако другие области, такие, например, как относящиеся к институциональным мерам, обращению с отходами и экономикой, применимы ко всем странам, потому что они направлены на учреждения, задействованные в развитии ядерно-энергетической программы (в том числе правительство, организация-оператор и национальная промышленность). Таким образом, рекомендуется, чтобы страна-«новичок» предприняла углубленную оценку этих трех специфических областей, используя, соответственно, том 2, 3 и 4 Руководства ИНПРО [1]. Охват всех других областей методологии ИНПРО должен быть ограничен по глубине, чтобы обеспечить сбалансированный взгляд.

#### 4.3.1. Характеристики ЯЭС

Характеристики ЯЭС должны быть определены с таким уровнем детализации, который желателен для выполнения оценки. Указания по определению ЯЭС дано в Руководстве ИНПРО (Раздел 5.3 тома 1 см. [1]). В характеристиках ЯЭС следует учитывать, будут ли вся ЯЭС и установки по обращения с отходами расположены в рассматриваемой стране, а также учитывать, какой будет использоваться топливный цикл. Например, если страна рассматривает однократный ядерный топливный цикл, то можно сделать следующие предположения:

- в стране будут расположены только реакторы и ответствующие необходимые установки по обращению с отходами;
- топливо будет закупаться за границей, но обращение с отработавшим топливом и другими радиоактивными отходами будут производиться в стране;
- рассматриваются только установки ЯЭС, расположенные в стране.

#### 4.3.2. Выгоды от ОЯЭС с ограниченной областью охвата для страны-«новичка»

Страна сможет подтвердить долгосрочную устойчивость своей ядерно-энергетической программы в пределах ее системы энергоснабжения только при учете специфических граничных условий, таких как экономика, необходимость надежности поставок, доступности нетрадиционных источников энергии и т.д. Рассматривая долгосрочные вопросы, связанные с институциональными мерами (инфраструктура<sup>10</sup>), такими как правовая база, кадровые ресурсы, роль национальной промышленности, политические обязательства и общественное восприятие, страна может выработать улучшенное понимание мер, нужных для поддержания устойчивой ядерно-энергетической программы. Если страна занимается вопросами обращения с ядерными отходами, как это определено в методологии ИНПРО, то это позволяет стране достичь лучшего понимания необходимости долгосрочной приверженности выполнению обязательств по обращения с отходами и возможными вариантами сокращения нагрузки на будущие поколения.

Выполняя ОЯЭС, специалисты, участвующие в исследовании, увеличат свои знания о соответствующих вопросах ядерной энергетики. Таким образом, ОЯЭС предоставляет возможность «обучения на практике».

#### 4.3.3. Группа оценки, необходимая для выполнения ОЯЭС с ограниченной областью охвата

Для того чтобы выполнить ОЯЭС с ограниченной областью охвата, страна должна обладать аналитическими и кадровыми ресурсами, нужными для сбора, анализа и управления необходимыми данными. Эти ресурсы обычно имеются у академических и научно-исследовательских институтов. Ограничивая область охвата ОЯЭС по глубине, и сводя ее к таким областям методологии ИНПРО, как экономика, институциональные меры (инфраструктура) и обращение с отходами, группа оценки первоначально могла бы состоять из руководителя группы и отдельных специалистов, компетентных в этих трех областях.

Как указано в разделе 3, страна, как правило, должна выполнить исследование в области планирования энергетических систем, которое определяло бы роль ядерной энергетики в удовлетворении ее прогнозируемых энергетических потребностей. Эксперты, которые принимали участие в этом исследовании в области планирования, могут быть включены в группу оценки. У них будет соответствующая компетенция и знания экономики страны, а также понимание ее промышленного потенциала. Кроме того, можно ожидать, что информация, собранная для исследований в области планирования энергетики и результаты такого исследования, будут использованы в качестве входной информации для ОЯЭС, особенно в таких областях, как экономика и институциональные меры.

---

<sup>10</sup> Вопросы инфраструктуры представлены в томе 3 ссылки [1]. Кроме того, том 5 и 6 ссылки [1] содержат особые требования по институциональным мерам по защищенности от распространения и физической безопасности.

#### 4.3.4. Поддержка группы ОЯЭС группой МАГАТЭ/ИНПРО

Для того чтобы начать ОЯЭС ограниченной областью охвата, группа оценки должна принимать участие в учебных занятиях, разработанных в соответствии с такими областями методологии ИНПРО, как экономика, институциональные меры (инфраструктура) и обращение с отходами, причем эти занятия предлагаются секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО в рамках пакета поддержки ОЯЭС (см. раздел 1.5). Во время этих учебных занятий вопросы, возникшие у членов группы в результате их самостоятельного изучения Руководства ИНПРО [1], могут быть заданы инструкторам. Обучение должно привести к общему пониманию проблем. В ходе обучения следует определить источники информации, необходимые для выполнения ОЯЭС. В ходе работы группы над ОЯЭС, следуют поддерживать контакт с группой МАГАТЭ/ИНПРО, в частности, решать вопросы и обсуждать проблемы по мере их возникновения.

После проведенного обучения группа должна определить то агентство национального правительства, которое отвечает за планирование энергетики, и вступить в контакт с этим агентством для получения информации о плане развития энергетики и о потенциальной роли ядерной энергетики. Представители этого национального агентства могут войти в состав группы, но если они не являются членами группы, они, по меньшей мере, должны быть доступными, чтобы оказывать помощь группе по мере необходимости.

#### 4.3.5. Выполнение ОЯЭС с ограниченной областью охвата

Группа оценки может начать свою работу с изучения обзора методологии ИНПРО (Том 1 Руководства ИНПРО [1]), сосредоточив внимание на методе оценки, как изложено в главах 4 и 5 этой публикации. Как уже было сказано, страна должна рассматривать только три области методологии ИНПРО углубленно — экономика (изложено в томе 2 [1]), институциональные меры (изложено, главным образом, в томе 3 и частично в томах 5 и 6 [1]), и обращение с отходами (изложено в томе 4 [1]). В этих трех областях требования методологии ИНПРО, прежде всего, направлены на отечественные организации, на правительство, эксплуатирующую организацию и на национальную промышленность, вовлеченные в ядерно-энергетическую программу.

Для трех областей ИНПРО, а именно: экономики, обращения с отходами и инфраструктуры, были уже разработаны<sup>11</sup> алгоритмические таблицы в рамках пакета поддержки ОЯЭС, которые дают примеры входных данных, необходимых для оценки.

Для оказания помощи в выполнении экономической оценки, используется программа, базирующаяся на EXCEL (называемая NEST, или «экономический вспомогательный инструмент для ОЯЭС»), которая содержит все уравнения, используемые для вычисления таких экономических показателей, как стоимость электроэнергии в приведенных единицах (LUEC) и финансовые показатели качества, такие как внутренняя норма прибыли (IRR), используемые в экономическом анализе, описанном в [1] (приложение А тома 2 Руководства ИНПРО).

Кроме того, пакет поддержки ОЯЭС включает электронные таблицы с описанием необходимых входных значений и примеры таких данных (главным образом, ссылки на соответствующие вебсайты). Используя эти вспомогательные инструменты, специалист по оценке может выполнить параметрическое исследование, чтобы определить долгосрочные экономические необходимые условия для устойчивой ядерно-энергетической системы в стране. Некоторые примеры – стоимость производства электроэнергии (и тепловой энергии), произведенной ЯЭС, сравнивается со стоимостью производства электроэнергии имеющимися в стране альтернативными источниками энергии, оценивается привлекательность долгосрочных инвестиций в ядерные установки и приемлемость связанного с ними риска. Проверяя данные, полученные от поставщиков (такие, как цены на ядерные установки, графики строительства и т.д.), специалист по оценке может подтвердить жизнеспособность варианта ЯЭС осуществлять поставки электроэнергии в стране. В случае отсутствия данных по планированию энергетических систем специфичных для определенной страны, можно также использовать данные о стоимостных показателях, использованные в исследованиях по планированию энергетики, на которые даются ссылки в томе 2

---

<sup>11</sup> В рамках пакета поддержки ОЯЭС аналогичные таблицы входных данных разрабатываются для всех других областей ИНПРО.



Руководства ИНПРО [1], и (или) стоимостные данные, представленные в качестве примера в главе 4 тома 2 Руководства ИНПРО. В качестве альтернативы можно использовать данные из всеобъемлющих экономических исследований, имеющиеся в литературе, такой как исследование Массачусетского технологического института [12] или различные исследования, опубликованные ОЭСР/АЯЭ (материалы [13, 14]) и ВЯА [15].

Если страна исследует несколько вариантов в отношении поставщиков для ядерных установок, то можно ожидать, что потенциальные поставщики технологий будут заинтересованы в предоставлении репрезентативной экономической информации. В данном контексте следует проявлять осторожность с тем, чтобы обеспечить, что затраты на захоронение отходов будут надлежащим образом представлены в экономическом анализе с учетом числа электростанций, которые страна ожидает построить.

Оценка области «институциональные меры (инфраструктура)» методологии ИНПРО заключается в определении того, способны ли институты страны обеспечить устойчивость ЯЭС и ее адаптируемость к будущим глобальным тенденциям. Таким образом, ожидается, что группа оценки будет связываться с различными государственными ведомствами (или ядерными агентствами, если они существуют), чтобы определить текущее состояние дел в соответствующих областях. В рамках пакета поддержки ОЯЭС имеются электронные таблицы входных данных (у секретариата МАГАТЭ/ИНПРО), которые обеспечивают ссылки на примеры хорошо организованных ядерных инфраструктур. Исследование этих примеров внесет вклад в накопление знаний в стране. Эту деятельность не следует путать с «методом вех» [16], который создает «дорожную карту» для разработки необходимой инфраструктуры для первой атомной электростанции в стране и для разработки официального метода оценки прогресса в достижении этой цели.

В области обращения с отходами группу оценки, в более широком смысле, также просят оценить состояние дел в стране. Некоторые из требований методологии ИНПРО в этой области имеют отношение к состоянию действующих установок для обращения с отходами, в то время как другие требования относятся скорее к состоянию планирования. Поскольку не ожидается, что страна-«новичок» имеет в эксплуатации значительные установки для обращения с отходами, группа оценки должна проявить интерес к состоянию планирования при выполнении первой оценки; ожидается, что группа оценки свяжется с различными государственными ведомствами для того, чтобы определить это. В области обращения с отходами также существуют электронные таблицы входных данных, аналогичные таблицам для области экономики и институциональных мер (инфраструктура). Оценка в области обращения с отходами усилит осознание необходимости рассматривать долгосрочные проблемы устойчивости с целью сведения к минимуму бремени, передаваемого будущим поколениям.

#### **4.3.6. Документация ОЯЭС**

Документирование ОЯЭС с ограниченной областью охвата следует производить в соответствии с общими руководящими принципами, приведенными в разделе 3.2. Документация должна фокусироваться на областях, которые подлежат углубленной оценке, при этом также исследовать следует другие области ИНПРО, чтобы обеспечить, что получено целостное и сбалансированное мнение.

#### **4.4. ПЕРСПЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ОЯЭС**

После того, как страна приобрела опыт с планированием, приобретением и эксплуатацией атомной электростанции, принимающие решения лица этой страны могут решить, что в стране имеется уровень знаний в области ядерной энергетики, достаточный для выполнения полномасштабный всеобъемлющий ОЯЭС. Это описано в общих чертах в разделе 3.2 и более подробно - в разделе 5.

#### **4.5. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ИНСТРУМЕНТАРИЕМ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, МЕТОДОЛОГИЕЙ ИНПРО И «МЕТОДА ВЕХ» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СТРАНЕ-«НОВИЧКУ»**

В этом разделе показано соотношение между планированием энергетических систем [9], методологией ИНПРО [1], и «методом вех» [16]. Планирование энергетических систем и ОЯЭС - инструменты для долгосрочного анализа ядерной энергетики, в то время как «метод вех» имеет отношение к деятельности на ближайшую перспективу.

##### **4.5.1. Планирование энергетических систем**

Первым шаг любой новой ядерно-энергетической программы должно стать выполнение исследования планирования энергетических систем [9]. Если такое исследование указывает на ясную (будущую) роль ядерной энергетики в системе энергоснабжения страны, то следующим логическим шагом должно стать ознакомление группы советников лиц, принимающих решения в стране о главных вопросах ядерной энергетики. После этого нужно, чтобы такие советники (скорее всего, представители академических обществ и научно-исследовательских учреждений) обеспечили надлежащее информирование ответственных лиц в этих вопросах, их последствиях, и о необходимости будущих изменений национальной энергетической программы.

##### **4.5.2. Методология ИНПРО для стран-«новичков»**

В качестве основы для вышеупомянутого информирования ответственных лиц, советники могут использовать методологию ИНПРО, задокументированную в [1], чтобы обеспечить понимание долгосрочных проблем ядерной энергетики, как это обсуждается в Разделах 4.1 и 4.2. Выполнение такой деятельности по обеспечению понимания поможет проникнуть в суть мер, принятие которых требуется, чтобы подготовиться к глобальным тенденциям в ядерном топливном цикле, например, за счет придания как можно большей гибкости инфраструктуре, что поможет ей адаптироваться к этим будущим тенденциям.

После того, как страна-«новичок» успешно разовьет свою ядерно-энергетическую программу и, таким образом, накопит достаточные знания в области ядерной энергетики, выполнение ограниченной по охвату ОЯЭС может принести дополнительные преимущества. Это, конечно, было бы целесообразно сделать после успешного ввода в эксплуатацию первой атомной электростанции. Выполнение ограниченной по охвату ОЯЭС зависит от имеющихся кадровых ресурсов и компетенции в стране.

После того, как страна приобретет опыт в планировании, приобретении и эксплуатации атомной электростанции, она будет считаться хорошо осведомленной, способной выполнять полномасштабную, всеобъемлющую ОЯЭС.

##### **4.5.3. Метод вех**

Чтобы создать в стране первую атомную электростанцию, необходимо рассмотреть широкий диапазон инфраструктурных проблем. Систематический подход, называемый «методом вех», описывающий, как создать соответствующую инфраструктуру для первой атомной электростанции, представлен в [16, 17]. Метод вех обеспечивает практическое руководство для лиц, принимающих решения в отношении разработки национальных ядерно-энергетических программ в ближайшей перспективе (в течение предстоящих 15–20 лет). Согласно методу вех, первую атомную электростанцию следует создавать в три этапа, каждый из которых оканчивается вехой. Первая веха считается достигнутой, когда страна готова взять на себя хорошо информированные обязательства по ядерно-энергетической программе, вторая - когда страна готова объявить тендер на свою первую атомную электростанцию, а третья - когда страна готова ввести в эксплуатацию и эксплуатировать свою первую АЭС. В пределах этих трех этапов были определены 19 проблем, которые должна учесть каждая страна-«новичок» (см. таблицу 1). Для каждой из этих 19 проблем для этих стран обеспечиваются особые условия, чтобы помочь им определить, как они могут достичь каждую из этих трех вех (см. рис. 3).

ТАБЛИЦА 1. ПРОБЛЕМЫ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В РАЗРАБОТКУ НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| • Национальная позиция          | • Развитие людских ресурсов            |
| • Ядерная безопасность          | • Вовлечение заинтересованных сторон   |
| • Управление                    | • Площадка и вспомогательные установки |
| • Фондирование и финансирование | • Охрана окружающей среды              |
| • Законодательные рамки         | • Аварийное планирование               |
| • Гарантии                      | • Сохранность и физическая защита      |
| • Рамки регулирования           | • Ядерный топливный цикл               |
| • Радиационная защита           | • Радиоактивные отходы                 |
| • Энергосети                    | • Участие промышленности               |
|                                 | • Закупки                              |

Интегрированная группа ядерной инфраструктуры (INIG) координирует оказание поддержки государствам-членам МАГАТЭ в области разработки ядерной инфраструктуры (<http://www.iaea.org/NuclearPower/Infrastructure/>). В основном, поддержка оказывается путем:

- разработка руководящих документов;
- оказанием помощь при выполнении самооценок;
- выполнения миссий по комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры;
- осуществления программы технического сотрудничества МАГАТЭ;
- проведения региональных и международных семинаров-практикумов по проблемам развития инфраструктуры.

Миссии по комплексному рассмотрению ядерной инфраструктуры (INIR) скоординированными внешними независимыми экспертными оценками МАГАТЭ, проводимыми группой международных экспертов на основании запроса государства-члена. Эти миссии INIR могут использоваться для оценки состояние продвижения страны к осуществлению ее ядерно-энергетической программы, используя метод вех.

#### 4.5.4. Выводы

Рисунок 4 в упрощенной форме иллюстрирует взаимоотношения между инструментарием для планирования энергетических систем, ОЯЭС, и методом вех в отношении стран-«новичков». Рисунок показывает, что планирование энергетических систем и методология ИНПРО являются инструментарием долгосрочного анализа, связанного с устойчивостью ЯЭС. Метод вех включает ближнесрочные виды деятельности, которые необходимы для создания первой атомной электростанции, и обеспечивает для данной страны систематическую методологию, чтобы оценить, насколько она хорошо готова к внедрению мирной ядерной энергетики с точки зрения безопасности, сохранности и эффективности. Этот рисунок также показывает, что планирование энергетических систем обеспечивает необходимую входную информацию как для методологии ИНПРО, так и для метода вех.

Следует подчеркнуть, что временные горизонты, рассматриваемые посредством этих трех инструментариев, различны. Метод вех, прежде всего, рассматривает период времени от принятия решения об изучении возможности включения ядерной энергетики в единую энергосистему до запуска первой атомной электростанции, процесса, который может занять до 20 лет. Планирование энергетических систем – это непрерывная деятельность - обычно направлена в будущее на срок до 30 лет. ОЯЭС должна охватывать



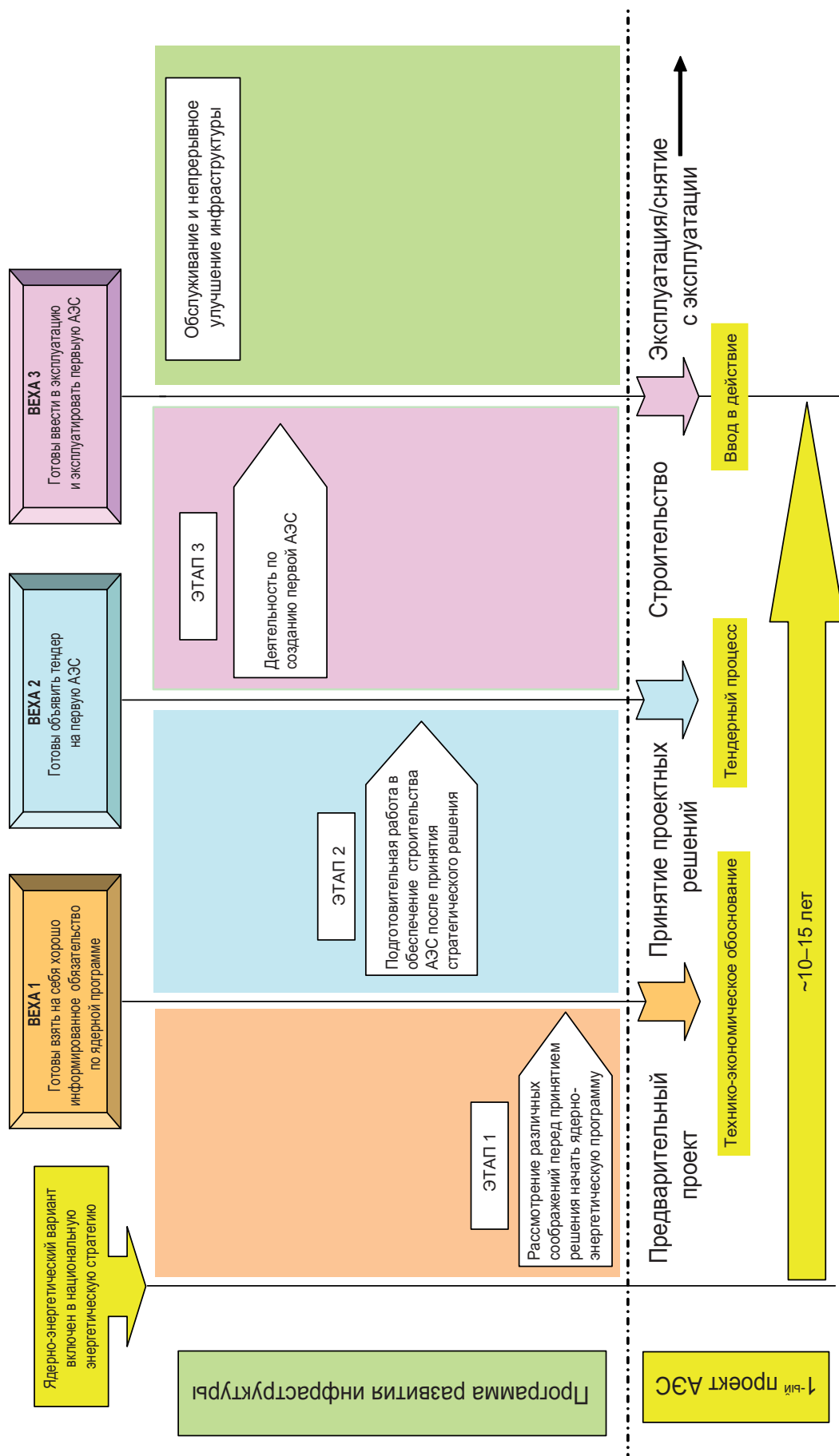


РИС. 3. Вехи в разработке национальной инфраструктуры ядерной энергетики.

роль ядерной энергетики и соответствующей деятельности на 50 - 100 лет вперед, или, по меньшей мере, до конца XXI века, и может осуществляться на периодической основе после того, как будет построена и введена в эксплуатацию первая атомная электростанция.

## **5. ВЫПОЛНЕНИЕ ОЯЭС ОПЫТНЫМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ТЕХНОЛОГИИ**

Этот раздел применим к странам, которые являются опытными пользователями технологии.

### **5.1. ВЫГОДЫ ОТ ВЫПОЛНЕНИЯ ОЯЭС ДЛЯ ОПЫТНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

Опытный пользователь технологии (страна с надлежащим образом организованной ядерно-энергетической программой) может использовать методологию ИНПРО, чтобы отобрать конкретную ЯЭС, принимая решение по поводу того, сохранить или расширить существующую ЯЭС, например, путем замены выведенных из эксплуатации энергоблоков, или создавая большее количество атомных электростанций. Кроме того, методологию ИНПРО можно использовать для того, чтобы определить пробелы в части долгосрочной устойчивости. Если же пробелы были обнаружены, то пользователь мог предложить последующие меры, чтобы устранить такие пробелы, причем это меры, которые либо могут быть предприняты пользователем, либо меры, которые, возможно, должны рассматриваться поставщиком технологии.

Опытный пользователь технологии может также использовать методологию ИНПРО, чтобы оценить готовность (зрелость) данной ЯЭС или ее компонента, который мог бы рассматриваться для внедрения в более поздний срок. Можно также использовать методологию ИНПРО для сравнения вариантов технологий и определения относительных преимуществ и недостатков различных вариантов, что помогает в выборе предпочтительного варианта.

Выгоды для опытного пользователя технологии использования методологии ИНПРО состоят в следующем:

- в обеспечении систематического и всеобъемлющего обоснования для оценки вариантов;
- в обеспечении, путем рассмотрения всех компонентов и всех областей, того, что все существенные проблемы будут рассмотрены, что позволит избежать западни;
- в определении пробелов, которые со временем подлежат рассмотрению для приведения ЯЭС к устойчивости;
- в определении потенциального синергизма различных комбинаций ЯЭС.

### **5.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЭС, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОЯЭС И ГРУППЫ ОЦЕНКИ**

Считается, что опытная страна-пользователь технологии желает выполнить ОЯЭС с четко определенной целью. Цель диктует область охвата ОЯЭС, например, охватываемые области методологии ИНПРО и определение компонентов и установок, которые войдут в ЯЭС. По определению, страной-опытным пользователем является та страна, которая:

- приобрела и эксплуатирует, по меньшей мере, одну атомную электростанцию (а, вероятно, и несколько станций) в течение значительного периода времени;

# Взаимоотношения между различными инструментами для стран-«новичков»

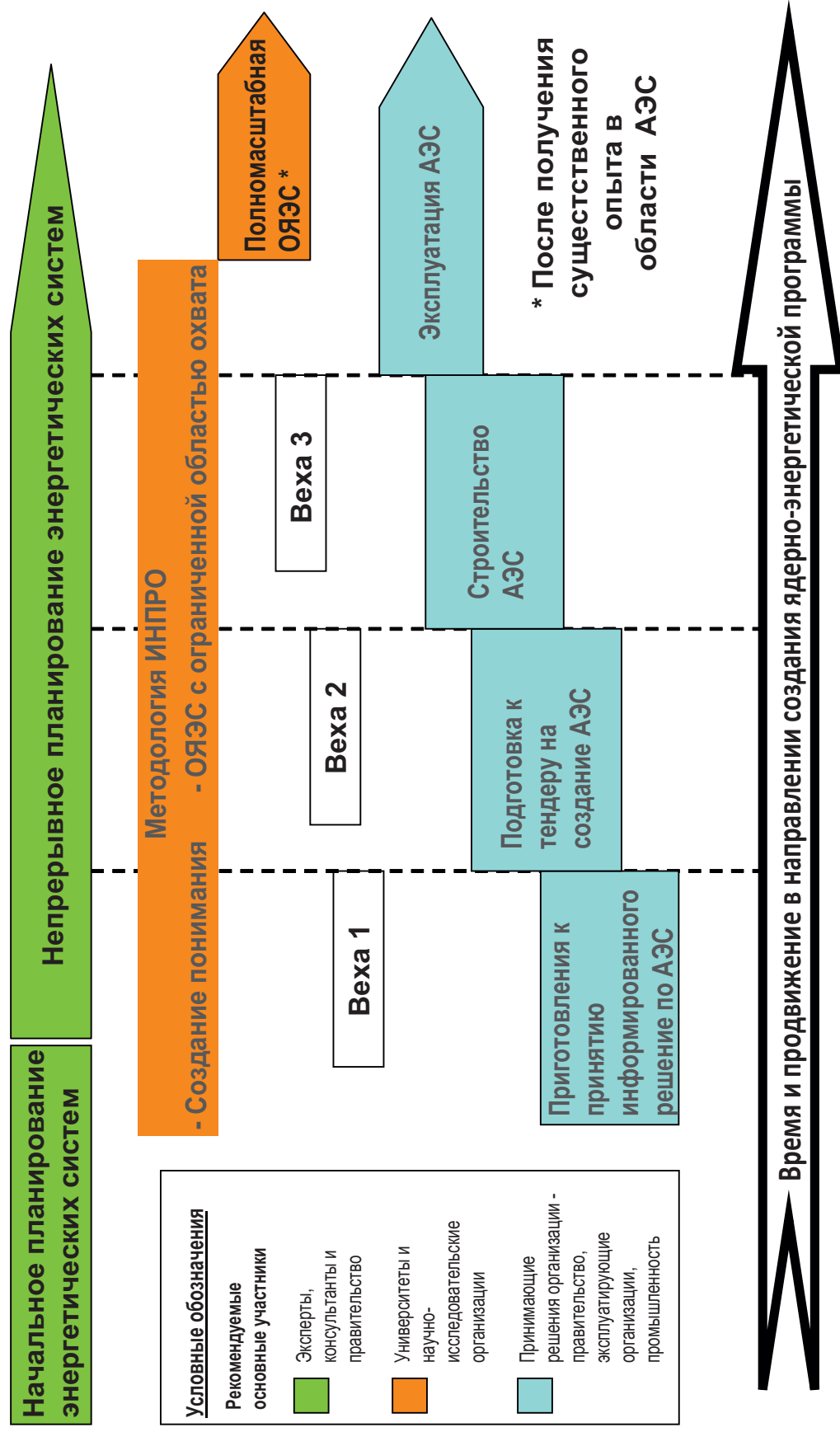


РИС. 4. Отношения среди инструментов для планирования энергетических систем, ОЯЭС и Рубежей приближаются для стран вновь прибывшего.

— обладает действующей ядерно-энергетической программой и значительным опытом в области эксплуатации, приобретения (может быть, и изготовления) топлива, обращения с отходами и лицензирования.

По определению, такая страна не является разработчиком ядерно-энергетической технологии, хотя она может обладать (или не обладать) некоторым опытом в начальной стадии топливного цикла, и у нее наверняка имеется некоторый соответствующий опыт в обращении с ядерными отходами. Эта страна также обладает хорошо развитой инфраструктурой, и ожидается, что она соответствует большинству требований методологии ИНПРО в области институциональных мер (инфраструктуры).

Например, страна-пользователь может иметь несколько эксплуатируемых АЭС, а также другие электростанции (гидроэлектростанции, электростанции на ископаемом горючем) и может желать выполнить ОЯЭС существующей в стране ЯЭС для оценки устойчивости существующей системы, например, для того, чтобы быть в состоянии внести определенный вклад в политические дискуссии о возможностях устойчивой энергетики для страны. В этом случае национальная ЯЭС состояла бы из ограниченного числа компонентов, а именно, реакторов и установок по обращению с отходами в стране, плюс любые компоненты начальной стадии ядерного топливного цикла в этой стране, такие, как урановая горнодобывающая промышленность и изготовление топлива. С точки зрения её полноты, ОЯЭС должна рассматривать все области, включая институциональные меры (инфраструктуру), даже если априори представляется, что, по той или иной причине, есть особая озабоченность относительно некоторых других специфических областей методологии ИНПРО. Учитывая, что первостепенный интерес – это вопрос устойчивости, можно ожидать, что оценка учитывала бы любые установки начальной и конечной стадий ядерного топливного цикла и операции вне страны для получения полной картины. Другим примером может стать страна, которая рассматривает строительство дополнительных энергоблоков АЭС. В таком случае первостепенный интерес пользователя мог бы сосредоточиться на вопросах, связанных со строительством дополнительных блоков, включая, например, вопросы экономики и экологии, а также сложности обращения с отходами и начальной стадии топливного цикла. Поэтому такая страна может включить все области методологии ИНПРО в рамки ОЯЭС, равно как и существующие и перспективные новые реакторы, установки начальной стадии топливного цикла и установки для обращения с отходами, необходимые для обращения с отходами, произведенными ЯЭС. Оценка институциональных мер (инфраструктуры) также включает в себя рассмотрение текущего состояния национальной ядерной инфраструктуры и, таким образом, должна рассмотреть такие вопросы, как необходимость в дополнительном подготовленном персонале для эксплуатации новых реакторов и осуществления надзора регулирующим органом.

В любом из этих двух случаев можно предпологать, что страна будет иметь доступ к внутренним экспертным ресурсам на всех областях методологии ИНПРО и, таким образом, может сформировать группу оценки с компетентностями, необходимыми для рассмотрения всех областей методологии ИНПРО. Кроме того, такая страна должна быть знакома с международными ядерными организациями, такими как МАГАТЭ, и должна иметь доступ к их публикациям.

В оставшейся части данного раздела мы примем допущение - с целью соблюдения учебного характера данного материала – о специфическом стечении обстоятельств на основе второго примера, обсужденного выше. Таким образом, предполагается, что опытный пользователь технологии – это страна с одним или несколькими энергопредприятиями, эксплуатирующими несколько блоков АЭС, некоторые из которых будут достигать конца своего срока службы в пределах периода планирования. Необходимо выполнить ОЯЭС, чтобы внести вклад в политические дискуссии о том, следует ли стране продолжать поддерживать расширенное использование ядерной энергетики.

Поскольку в настоящее время некоторые находящиеся в эксплуатации АЭС приближаются к концу своего срока службы, ОЯЭС должна исследовать проблему замены старых блоков и расширенного строительства новых блоков. Имеется в виду, что оценка охватит все области методологии ИНПРО и ЯЭС, которая включает в себя атомные электростанции, установки начальной стадии топливного цикла (горная промышленность, конверсия, обогащение и изготовление топлива) и все соответствующие установки по обращению с отходами. Кроме того, например, принимается допущение, что установки по добыче, конверсии и обогащению расположены за пределами страны-пользователя (оффшорные предприятия) и что энергопредприятия закупают около 50 % своего топлива у отечественных производителей на основе долгосрочных контрактов на поставку, и приблизительно 50 % - у оффшорных производителей по

краткосрочным контрактам на поставку. У страны и ее энергопредприятий есть отечественные экспертные ресурсы в планировании, экономике, регулирующей деятельности и лицензировании, экологической экспертизе, закупках, в эксплуатации, промежуточной переработке и хранении радиоактивных отходов, а также в промежуточном хранении отработавшего топлива и т.д. Иными словами, существует широкая основа опыта, который может быть использован при выполнении ОЯЭС.

ОЯЭС должна рассмотреть все области методологии ИНПРО. Несмотря на то, что такая страна уже обладает хорошо развитой инфраструктурой, также следует включить в рассмотрение соответствующие области методологии ИНПРО, чтобы удостовериться, что нет нерешенных вопросов, а также, чтобы исследовать воздействие возможного расширения ее парка ядерных реакторов на национальную инфраструктуру, включая кадровые ресурсы, обучение персонала и т.д.

Чтобы выполнить оценку, необходимо образовать группу, состоящую из руководителя и членов группы, обладающими знаниями в каждой из областей методологии ИНПРО. При образовании такой группы можно придерживаться разнообразных подходов. Например, группа может состоять из некой комбинации руководящего персонала из государственных ведомств, научных кругов, и из представителей соответствующих профессиональных обществ. Персонал группы мог бы получать менее квалифицированных специалистов, которые могли бы вести сбор необходимой информации для рассмотрения непосредственно группой оценки. Однако для группы нужен сильный председатель, который бы выполнял функции руководителя проекта, работая на условиях почти полного рабочего дня; кроме того, в группе за каждую область методологии ИНПРО нужно назначить, по крайней мере, одного человека, который был бы главным ответственным за свою область.

### 5.3. ВЫПОЛНЕНИЕ ОЯЭС

Как отмечено в разделе 3.2, отправной точкой для ОЯЭС является план энергетической системы, в котором излагается роль ядерной энергетики и который, в свою очередь, используется для определения подлежащей оценке ЯЭС.

Группа оценки может работать различными способами. Например, если бы группа состояла из занятых полный рабочий день участников с приданным вспомогательным персоналом, то она могла бы взять на себя инициативу по сбору информации, необходимой для выполнения оценки. При этом ей понадобится запрашивать информацию у различных организаций, которые составляют отечественное ядерное сообщество, у таких, как энергопредприятия, регулирующий орган, изготовитель топлива, соответствующие государственные ведомства и т.д. Другой подход заключается в том, что группа просит различные организации, которые составляют отечественное ядерное сообщество, представить исследования по оценке в определенных областях. Например, группа может запросить энергопредприятия оценить экономическую конкурентоспособность ядерной энергетики, используя критерии и требования пользователя в области экономики методологии ИНПРО. Независимо от принятого подхода, потребуется исходная информация от внешних организаций, включая оффшорные организации, которые предоставляют энергопредприятиям услуги по обогащению, конверсии и изготовлению топлива, и от МАГАТЭ.

После того, как группа оценки создана, для того, чтобы начать свою работу, группа должна будет принять решение относительно своего принципа работы, и ей придется ознакомиться с методологией ИНПРО, прочитав данный документ и том 1 Руководства ИНПРО [1]. Каждый член группы, ответственный за данную область методологии ИНПРО, должен также изучить соответствующий том Руководства [1], за который он (она) несет ответственность. Как было упомянуто в разделе 1.5, ожидается, что в должное время станет доступным пакет поддержки ОЯЭС. В него будут включены примеры полномасштабных ОЯЭС. В настоящее время отсутствует достаточно подробная документация по примерам, но как только такие примеры станут доступными, группе следует незамедлительно рассмотреть их.

В начале процесса группа должна провести несколько встреч, чтобы обеспечить общее понимание методологии ИНПРО, договориться о своих подходах к проведению оценки, определить лиц, ответственных за поддержание связи в пределах отечественного ядерного сообщества и т.д. Следует также в начале работы установить контакт с группой МАГАТЭ/ИНПРО и поддерживать его в ходе выполнения оценки для того, чтобы совместно с этой группой решать проблемы и вопросы и, в случае необходимости, обращаться к ней за помощью в получении информации от иностранных организаций.

Как только группа оценки ознакомится с методологией ИНПРО и ее задачами, она должна будет принять решение о том, следует ли ей принимать в участие в практических занятиях с группой МАГАТЭ/ИНПРО. Независимо от этого решения руководитель группы следует устанавливать контакт с секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО и подтвердить, что группа оценки использует самую точную имеющуюся информацию, а именно, самую последнюю редакцию Руководства ИНПРО [1], самую современную базу данных методологии ИНПРО и т.д. Как отмечено в разделе 7 из этой публикации, Руководство ИНПРО [1] будет пересмотрено в должное время. При проведении ОЯЭС группа оценки должна принимать во внимание эту обновленную информацию.

По мере выполнения ОЯЭС, важно, чтобы группа оценки постоянно поддерживала коммуникацию среди членов группы, например, проводя регулярно обзорные совещания для того, чтобы выработать последовательное и интегрированное понимание процесса самого процесса оценки и полученных результатов. Группа оценки несет ответственность за качество оценки и ее документацию.

#### 5.4. ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

Как указано в разделе 5.2, принимается допущение, что проводится оценка ЯЭС, которая включает в себя как установки, которые находятся в настоящее время в эксплуатации, так и новые атомные электростанции, которые будут создаваться и эксплуатироваться в стране. По существующим установкам, как расположенным в стране, так и за ее пределами (предполагается, что предприятия горной промышленности, предприятия по конверсии, обогащению и некоторые из предприятий по изготовлению топлива расположены за пределами страны), должно иметься уже большое количество информации, запрашиваемой для проведения оценки.

Например, у отечественных энергопредприятий должна быть информация — необходимая для оценки — относительно стоимости электроэнергии в нормированных единицах для существующих эксплуатируемых атомных электростанций и электростанций других типов, о ставках дисконтирования, используемых энергопредприятиями в их экономических анализах и т.д. Информация о выбросах, экологических характеристиках и т.д. также должна иметься у энергопредприятий и отечественных изготовителей топлива. Современная практика обращения с отходами должна быть хорошо известна, и от энергопредприятий можно получить планы обращения с отходами. Если таких планов обращения с отходами не существуют, то это ясно говорит о наличии пробела.

Регулирующий орган должен предоставить информацию относительно культуры безопасности, а эксплуатируемые установки должны иметь информацию об эксплуатационных экспертных проверках и т.д.

Информация должна иметься от оффшорных организаций в отношении горной промышленности, конверсии, обогащения и изготовлению топлива, а также об экологических характеристиках, планах по обращению с отходами, национальной инфраструктуре и т.д. - от компаний непосредственно или от национальных регулирующих органов в странах, в которых расположены такие установки. Если группа оценки испытывает затруднения в оценке такой информации непосредственно, энергопредприятия должны быть готовы произвести такую оценку от имени группы оценки, поскольку они являются заказчиками этих иностранных поставщиков. Таким образом, получение необходимой для оценки информации по эксплуатируемым в настоящее время установкам не представляется чрезмерно трудным.

Что касается новых атомных электростанций, то для получения соответствующей информации по экономике, безопасности и окружающей среде нужно будет связаться с поставщиками, либо напрямую, либо через энергопредприятия. В области безопасности, например, ожидается, что новые АЭС должны продемонстрировать усовершенствования по сравнению с существующими АЭС, и потенциальные поставщики должны предоставить информацию, чтобы показать повышенный уровень безопасности. Ожидается, что в области обращения с отходами поставщики имеют информацию в отношении усилий по минимизации отходов, но по большей части информацию в области обращения с отходами следует получать из отечественных источников, энергопредприятий, регулирующего органа, и любых национальных организаций по обращению с отходами. Принимается допущение, что существующие АЭС находятся под действием гарантий МАГАТЭ, и что можно связаться с самим МАГАТЭ относительно защищенности от распространения находящихся в эксплуатации установок предлагаемых к строительству новых АЭС. МАГАТЭ может также оказать помощь в других определенных областях, таких, как



предоставление информации о том, были ли проведены экспертные проверки относительно культуры безопасности.

Очевидно, что любые новые АЭС должны соответствовать требованиям национального регулирующего органа относительно безопасности, окружающей среды, физической защиты, защищенности от распространения и обращения с отходами, и что можно связаться с национальным регулирующим органом относительно этих областей методологии ИНПРО. В области инфраструктуры, отечественные организации, такие как энергопредприятия, регулирующий орган, национальное ядерное общество, образовательные институты и т.д., должны быть готовы оказывать помощь. Наконец, база данных по собираемой информации в рамках пакета поддержки ОЯЭС, также будет полезной, как только она станет доступной.

Реакция на исследования в области оценки, выполненные к настоящему времени, показала, что опытный пользователь технологии получит пользу от руководящих материалов по некоторым конкретным темам, включая использование методологии ИНПРО для сравнения вариантов. Эти вопросы кратко обсуждены ниже в Разделах с 5.5 по 5.8.

## 5.5. СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ЯЭС

Идеи по сравнению результатов ОЯЭС обсуждаются в [1] (Раздел 4.4.4 и Приложение В тома 1 Руководства ИНПРО). Никакой дополнительной работы в этой области не было сделано, так как текст Руководства ИНПРО был заморожен в 2008 году. Однако, в подготовке этого руководства возникли некоторые дополнительные идеи, и они представлены ниже.

Что касается примера, приведенного в разделе 5.1 выше, давайте предположим, что один из логических подходов заключается в том, чтобы производить сравнение вариантов реакторов на базе испытанных технологий с целью выбора предпочтительного референтного варианта. Таким образом, следуют выполнить ОЯЭС с различными вариантами реакторов, чтобы определить, все ли проанализированные варианты реакторов приведет к созданию системы устойчивой энергетики. Для простоты, давайте предположим, что рассматривались только два варианта. Можно предсказать три результата ОЯЭС:

- случай 1: Первый вариант – устойчивый, второй – нет;
- случай 2: Оба варианте неустойчивы;
- случай 3: Оба варианта устойчивы.

Эти три случая обсуждаются ниже.

### 5.5.1. Случай 1

Если один вариант устойчив (это значит, что он выполняет все критерии методологии ИНПРО), и другой вариант – нет, то, обычно, следует ожидать, что предпочтение будет отдано устойчивому варианту. Но, как отмечалось в разделе 2.3 настоящего доклада, данная ЯЭС могла бы временно представлять собой превосходную энергетическую систему, при условии, что могут быть предприняты действия для того, чтобы в более долгосрочном плане привести ЯЭС к устойчивости. Поэтому, сравнивая два варианта реакторов, один из которых отвечает требованиям по устойчивости, а другой – не отвечает, группа оценки должна рассмотреть ту область методологии ИНПРО, где существуют пробелы, и учесть, какие действия необходимо будет предпринять, чтобы заполнить пробелы и привести неустойчивый вариант к устойчивости. Если эти действия представляют существенную проблему, тогда предпочтительным будет устойчивый вариант. Если бы необходимые действия не будут обременительными, то несоответствующий требованиям устойчивости вариант мог бы рассматриваться как приемлемый в качестве временного выбора, таким образом, оба варианта продолжают конкурировать между собой, и в этом случае следует принять во внимание обсуждение случая 3, приведенное ниже.

### 5.5.2. Случай 2

Если оба варианта неустойчивы, следует определить меры, которые необходимо предпринять для того, чтобы заполнить пробелы и привести оба варианта к устойчивости. Если эти действия представляют существенную проблему для одного варианта, но не для другого, то последний вариант мог бы рассматриваться как предпочтительный. Например, можно задать вопрос, имеются ли значительные различия между вариантами в одной или другой областях методологии ИНПРО, и пришлось ли столкнуться с большими неопределенностями в выполнении оценки для одного из вариантов по сравнению с другим. Если это так, то провести различие будет относительно просто. Но если больших различий нет, сравнение вариантов может стать более проблематичным, и может оказаться невозможным провести различие на основе мер, необходимых для приведения обоих вариантов к устойчивости. В такой ситуации следует принять во внимание обсуждения в случае 3.

### 5.5.3. Случай 3

В этом случае оба варианта считаются устойчивыми (либо нельзя провести различия на основе устойчивости, как в случаях 1 и 2), следовательно, устойчивость не может использоваться в качестве различительного признака. В этом случае нужно рассматривать другие факторы, помимо устойчивости. ОЯЭС может высветить эти факторы, а может, и нет, поскольку методология ИНПРО была разработана, на сегодняшний день, для оценки устойчивости ЯЭС. Как только определение устойчивости было выполнено, полезность методологии ИНПРО может стать сомнительной.

Проведение различия между вариантами с использованием результатов ОЯЭС требует, чтобы группа оценки приняла решение относительно факторов, которые она будет использовать для дифференцирования вариантов. В целом, некоторые области методологии ИНПРО, возможно, не пригодны для дифференциации вариантов. Безопасность может быть одной из таких областей методологии ИНПРО, так как ожидается, что все реакторы выполняют международные нормы. В любом случае, рекомендация заключается в том, что для сравнения вариантов необходимо сначала рассматривать только несколько областей методологии ИНПРО. Выбор областей зависит от специалиста по оценке, но экономика, институциональные меры (инфраструктура), и, возможно, обращение с отходами - вероятные кандидаты на выбор.

В области экономики важно задавать такие вопросы, как: У какого варианта самая низкая стоимость электроэнергии в приведенных единицах? Какой вариант представляет самый низкий инвестиционный риск? Есть ли четкие различия или различия в пределах неопределенностей, связанных с данными, представленными потенциальными поставщиками, в особенности той информации, которая не является частью фирменной тендерной документации?

В области институциональных мер (инфраструктуры) необходимо задать следующие вопросы: Требуется ли один из вариантов постепенного увеличения инвестиций, скажем, в обучение или поддерживающую инфраструктуру, потому что это представляет собой существенное изменение в технологии? Предусматривает ли один из вариантов большие возможности для участия отечественных компаний?

В области обращения с отходами, нужно задать следующие вопросы: Представляет ли один из вариантов больше проблем с точки зрения определения конечного и задействования отечественных мощностей для доведения отходов до этого конечного состояния?

Нет сомнений в том, что поставщики технологий предложат информацию, чтобы продемонстрировать превосходные характеристики в той или иной области, причем специалист по оценке должен будет принимать во внимание такую информацию. Посредством выполнения ОЯЭС специалист по оценке может сформировать суждение об обоснованности таких заявлений, а также о необходимости учета некоторых компенсирующих факторов.

Завершая этот раздел, можно повторить, что к настоящему времени методология ИНПРО разработана, прежде всего, чтобы оценить ЯЭС на основе устойчивости. Таким образом, использование ОЯЭС для проведения различий между вариантами на некоторой другой основе может быть проблематичным.



## 5.6. ЗРЕЛОСТЬ ВАРИАНТОВ ЯЭС

Ожидается, что страна - опытный пользователь технологий, которая по определению не является страной-разработчиком технологий, и которая использует методологию ИНПРО для сравнения вариантов, заинтересована в зрелости рассматриваемых вариантов. Очевидно, что стране-пользователю технологии в определенный момент времени придется принять технологию, которая еще не была внедрена в стране. Например, когда определенный реактор достигает конца своего срока службы, очень маловероятно, что он будет заменен идентичным реактором.

Если вариант ЯЭС должен быть принят к внедрению в ближнесрочной перспективе, скажем, в течение ближайших 5–10 лет, то группа оценки должна отдать решительное предпочтение испытанной технологии, т.е. уже лицензированной технологии, которая эксплуатируется в стране происхождения. Таким образом, вариант, который не испытан, т.е. тот, который не находится в эксплуатации в стране происхождения, как правило, должен быть исключен из рассмотрения.

При некоторых обстоятельствах опытный пользователь технологий мог бы рассмотреть возможность строительства АЭС с реакторами нового типа (FOAK), но только если бы это обещало очень хорошие характеристики по сравнению с другими вариантами, например, в области экономики. В таких обстоятельствах группа оценки должна будет обеспечить, чтобы риски строительства АЭС с новой моделью реактора были бы четко понятны всем заинтересованным сторонам, чтобы любые риски учитывались в оценке<sup>12</sup>, и чтобы риск, так или иначе, был ограниченным, например, путем включения соответствующих условий в контракты.

Если же пользователь рассматривает технологию, которая могла бы быть принята в более долгосрочной перспективе, например, если рассматривается ее развертывание через 20 лет, то неопределенность, связанная с незрелостью проекта, возможно, не столь важна, но это, тем не менее, представляет проблему. В таком случае поставщик технологии должен предоставить информацию специалисту по оценке, которая должна продемонстрировать, что к тому времени, когда будет приниматься решение о фактическом развертывании технологии, технология должна будет получить подтверждение в коммерческом плане (см. раздел 4.3.3 тома 1 Руководства ИНПРО [1], и, в частности, таблиц 4.3 в этом томе). Если же график разработки поставщика не согласуется с планом развертывания пользователя технологии, то, обычно, такой вариант исключается из рассмотрения, потому что эта технология не может получить обоснования к запланированному времени развертывания.

Когда страна принимает апробированную технологию, которая для этой страны является новинкой, например, новый реактор или установка ядерного топливного цикла, то необходимо составить план, который бы предусматривал развитие отечественных мощностей, привлекал международный опыт и, в особенности, опыт страны-поставщика. План должен быть заслуживающим доверие у специалиста по оценке, а если такого плана не имеется, то необходимо будет определить последующие меры.

## 5.7. АГРЕГИРОВАНИЕ И ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЯЭС

Некоторые мысли об агрегировании ОЯЭС обсуждаются в [1] (раздел 4.4.4 и Приложение В тома 1 Руководства ИНПРО). Агрегированные результаты могут быть наиболее полезными при попытке суммировать результаты ОЯЭС для принимающих решения лиц. До настоящего времени каких-либо значительных исследований по агрегированию не производилось. Результаты ОЯЭС, выполненных к настоящему времени [5], указывают, что числовое агрегирование проблематично.

Таким образом, рекомендуется, чтобы пользователи технологии пока не пытались использовать числовое агрегирование в качестве инструмента для сравнения вариантов. Вернее, варианты можно сравнивать просто путем суммирования основных различий в представляющих наибольший интерес областях методологии ИНПРО. Как уже отмечено, использование ОЯЭС на основе методологии ИНПРО для выбора вариантов может быть проблематичным.

---

<sup>12</sup> См. [1], например, раздел 3.4 тома 2 Руководства ИНПРО, и, в частности, обсуждение критериев методологии ИНПРО CR3.1, CR3.2 и CR3.3 в томе 2, и раздел 4.4.3 тома 1 Руководства ИНПРО.

Некоторые предварительные идеи для агрегирования и сравнения результатов оценки варианта ЯЭС представлены в Приложении I.

#### 5.8. УЧЕТ РАСПОЛОЖЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ИЗ УСТАНОВОК ЯЭС ЗА ПРЕДЕЛАМИ СТРАНЫ

Выполняя ОЯЭС в полном объеме, чтобы подтвердить устойчивость ЯЭС, следует учитывать все компоненты (установки) ЯЭС. Во многих ЯЭС нередко некоторые компоненты расположены за пределами страны. Например, если страна использует ОЯЭС как инструмент принятия решения о развертывании атомной электростанции, то весьма вероятно, что только атомная электростанция и соответствующие установки для обращения с отходами расположены в самой стране, а компоненты начальной стадии ядерного топливного цикла (горная промышленность, конверсия, обогащение и предприятия по изготовлению топлива) расположены за пределами страны. Однако, чтобы прийти к выводу об устойчивости ЯЭС, в оценку должны быть включены все компоненты ЯЭС. Информация, необходимая для оценки, должна быть получена из стран, в которых расположены различные установки.

В идеале, страны-поставщики могли бы оценить критерии методологии ИНПРО для установок в своих странах и предоставить группе оценки в принимающей стране результаты, включая вспомогательную документацию. Сегодня, страны-подписанты Объединенной конвенции о безопасности и Конвенции о безопасности радиоактивных отходов и отработавшего топлива собирают значительную часть информации, которая понадобилась бы для ОЯЭС, чтобы соответствовать требованиям этих конвенций в отношении независимого экспертного рассмотрения. Предоставление такой информации группе оценки в другой стране не должно сильно обременять поставщика информации, хотя некоторые усилия все же понадобятся, потому что, по крайней мере, форматы представления информации различны. Секретариат МАГАТЭ/ИНПРО может оказывать помощь в получении соответствующей информации. Кроме того, теперь многие ядерные организации размещают соответствующую информацию на своих вебсайтах. Помимо этого - и это отмечено в разделе 5.4 доклада - коммерческие поставщики должны с желанием предоставлять необходимую для ОЯЭС информацию потенциальным клиентам.

Если бы ядерная установка ядерного топливного цикла, планируемая к строительству в стране, сравнивалась с тем же самым видом установки, планируемой к строительству за пределами страны — причем обе установки планируется построить в будущем - рекомендуется, чтобы идентичные результаты оценок для обеих установок были определены для всех связанных с проектированием требований ИНПРО в соответствующих областях методологии ИНПРО: безопасности, защищенности от распространения, физической защите, окружающей среде и обращении с отходами. Это означает, что окончательное место нахождения установки, внутри ли страны или за ее пределами, не должно повлиять на результаты оценки. Для требований методологии ИНПРО, которые либо являются характерными для конкретной площадки, например, в области физической защиты, или характерны для самой страны, например, в области экономики и институциональных мер (инфраструктуры), ожидаются различные результаты оценки для установок, расположенных внутри и снаружи страны.

## 6. ВЫПОЛНЕНИЕ ОЯЭС РАЗРАБОТЧИКОМ ТЕХНОЛОГИИ

Этот раздел применим к разработчику технологии. Руководящие указания этого раздела являются весьма общими. У разработчиков технологий есть свои собственные процессы и инструменты, которые они используют в планировании и контроле технологических разработок. Ожидается, что, поскольку используется методология ИНПРО, разработчики обеспечат примеры образцовой практики, которая может использоваться для улучшения Руководство ИНПРО [1] и этого руководства (и наоборот).

## 6.1. ВВЕДЕНИЕ

В этом разделе обсуждается использование методологии ИНПРО в контексте разработки технологии. Требования методологии ИНПРО тесно связаны с целью устойчивой поставки энергии. Если для данной ЯЭС имеется соответствие всем критериям и во всех областях методологии, то это - устойчивая ЯЭС. Если соответствия всем критериям нет, то нужно определить действия, чтобы привести ЯЭС к устойчивости.

Использование методологии ИНПРО разработчиком технологии с целью оценки устойчивости данной ЯЭС может немного отличаться от использования этой методологии пользователем технологии. Независимый от методологии ИНПРО, разработчик определит цели разработки для улучшения характеристик данной ЯЭС, или некоторых частей ЯЭС, в данной области. В отличие от пользователя технологии, разработчик может лишь сравнивать цели развития с требованиями методологии ИНПРО, чтобы определить, соответствует ли предложенная разработка цели устойчивого развития энергетики. Строго говоря, специалист по оценке может проверить каждый критерий ИНПРО, чтобы установить, соответствует ли данная цель развития соответствующему пределу приемлемости методологии ИНПРО. Если цели развития соответствуют всем допустимым пределам ИНПРО или превышают их, то ЯЭС оценивается как устойчивая в пределах граничных условий, используемых при оценке. Если специалист по оценке приходит к выводу, что нет соответствия некоторым пределам приемлемости ИНПРО или эти пределы не охвачены целями развития - т.е. в программе развития были определены некоторые пробелы—разработчику следует сформулировать по-иному цели, при необходимости добавляя новые.

Далее, оценивая ЯЭС на всех областях методологии ИНПРО, в которых бы использовалась предложенная разработка, разработчик может определить, могут ли цели разработки, заданные в одной области, вызвать потенциально отрицательные последствия в другой области методологии ИНПРО. В последнем случае, по-видимому, такие цели разработки и планы были бы изменены так, чтобы разработка соответствовала цели достижения устойчивости энергетической системы.

## 6.2. ОБЛАСТЬ ОХВАТА ОЯЭС И ГРУППА ОЦЕНКИ

Как и в случае опытного пользователя технологии, область охвата оценки, выполненной разработчиком технологии, будет определяться ожидаемым использованием результатов оценки. Предполагается, что разработчик технологии хотел бы оценить, на некоторой стадии развития, предложенную ЯЭС, чтобы определить, будет ли представлять ЯЭС, когда она будет разработана, систему устойчивой энергетики. Это - главная цель выполнения оценки ЯЭС с применением методологии ИНПРО. Оценка должна рассматривать все области методологии ИНПРО и рассматривать все компоненты ЯЭС.

Например, можно предположить, что разработчик технологии заинтересован в эволюционном развитии конструкции реактора. Для того чтобы обеспечить, что такой реактор мог стать компонентом устойчивой энергетической системы, разработчику необходимо будет оценить устойчивость референтной ЯЭС, в которой используется этот реактор, с учетом всех компонентов, всех областей методологии ИНПРО и референтного плана развития энергетики. Для такого разработчика референтный план развития энергетики представляет собой отражение рынка, в котором, как ожидается, разработчик будет участвовать в конкуренции.

Критерии, изложенные в Руководстве [1] ИНПРО, определяют, что необходимо для устойчивости ЯЭС. Таким образом, разработчик должен обеспечить, чтобы цели развития, заданные для реактора, соответствуют критериям методологии ИНПРО. Например, цели развития в экономике могут быть по существу теми же самыми, что и пределы приемлемости методологии ИНПРО, как это определено для целевого рынка. Главным целевым рынком может быть внутренний рынок разработчика. На этом рынке разработчик должен определить конкурирующие источники энергии, и использовать эти конкурирующие источники энергии, чтобы установить экономические пределы приемлемости. Если бы цели развития, по меньшей мере, соответствовали этим пределам, то имело бы место соответствие критериям методологии ИНПРО. Цели развития могут превышать пределы приемлемости, но не должны быть ниже их. Однако в разработке реакторов необходимо рассматривать все области методологии ИНПРО, не только экономику. Таким образом, поскольку на рассмотрение выносятся различные предложения — предложения о повышении безопасности, об улучшении экологических характеристик и т.д. — нужно рассмотреть

воздействие внедрения предложения, чтобы оценить его воздействие на другие области методологии ИНПРО, в частности, на экономические показатели. Таким образом, ИНПРО, и, в частности, критерии методологии ИНПРО, будут использоваться для проверки специфических предложений в области развития, чтобы обеспечить, что реактор, будучи разработанным, мог быть частью устойчивой системы энергетики.

В этом примере «оценка» должна использоваться для направления разработки таким образом, чтобы достигался сбалансированный проект, который охватывал бы все семь областей методологии ИНПРО. Таким образом, группа оценки, по-видимому, состояла бы из старших советников и руководителей, которые обеспечивали бы постоянный контроль и экспертизу разработки реакторов, используя критерии методологии ИНПРО и требования пользователей, как это рекомендует Руководство.

Как отмечалось выше, для оценки устойчивости разработчик должен использовать референтный план развития энергетики. Для целей развития, референтный план должен отражать энергетический спрос, ожидаемый на целевом рынке, и также отражать возможный вклад ядерной энергетики в том случае, если цели в области развития будут полностью достигнуты. Это означает, что должен быть план, который отражает то, что могло бы быть возможным в противоположность референтному плану, который был принят. Важный пункт в таком плане - ожидаемые потребности в ресурсах урана и, следовательно, необходимость внедрять перспективные топливные циклы, чтобы увеличить эти ресурсы. Вопрос ресурсов урана был кратко обсужден в [1] (раздел 5.4 тома 1 Руководства ИНПРО), и любой разработчик реакторной технологии должен помнить о том, что, в должное время, увеличение ресурсов урана может стать важным соображением.

В другом примере разработчик может рассматривать использование усовершенствованных топливных циклов, исходя из допущения о том, что такие топливные циклы и соответствующие им реакторы понадобятся в должное время. В таком случае разработчик может использовать критерии методологии ИНПРО, чтобы установить цели разработки таким образом, чтобы, будучи полностью разработанной, ЯЭС на основе перспективного топливного цикла, а также соответствующие реакторы, были бы устойчивыми. Таким образом, использовались бы те же самые общие цели развития, но, по-видимому, с различными граничными условиями. В обоих примерах экономические критерии требуют, чтобы стоимость энергии от ЯЭС была конкурентоспособной с имеющимися альтернативами; в обоих случаях критерии обращения с отходами должны удовлетворяться и т.д.

Поэтому с точки зрения разработки, требования методологии ИНПРО, как изложено в Руководстве [1] ИНПРО - основной вклад в процесс развития. Разработчик сам должен решить, как выполнить эти требования.

Однако, как это подтвердили ОЯЭС, выполненные к настоящему времени [5], некоторые дополнительные комментарии к конкретным темам могли бы быть полезными для разработчиков технологий. Эти вопросы обсуждаются, в ограниченной степени, ниже.

### 6.3. ПРИМЕНЕНИЕ ОЯЭС ДЛЯ ВЫБОРА ВАРИАНТА И ОЦЕНКИ ЗРЕЛОСТИ РАЗРАБОТКИ ЯЭС

На сегодняшний день, методология ИНПРО разработана, прежде всего, для того, чтобы оценить ЯЭС на основе устойчивости. Поэтому использование ОЯЭС выбора вариантов ЯЭС на какой-либо иной основе может быть проблематичным. Кроме того, как указано выше, если требования методологии ИНПРО используются для того, чтобы устанавливать цели в области разработки для данной системы, или наоборот, если цели в области разработки полностью совместимы с требованиями ИНПРО, все такие системы могут рассматриваться как эквивалентные. Однако опыт показывает, что определить цель – это не то же самое, что достичь этой цели. Реальная проблема для разработчика технологии заключается не в определении целей разработки, которые отражают требования методологии ИНПРО и соответствуют им; скорее, задача стоит в одновременности выполнения всех требований методологии ИНПРО.

На ранней стадии разработки есть значительная неопределенность в отношении того, может ли быть достигнута данная цель. Чем больше неопределенность, тем выше вероятность того, что цели разработки, фактически, не будут полностью достигнуты. Эти вопросы обсуждаются в разделах 4.4 и 4.5 тома 1 Руководства ИНПРО [1].

Процессы разработки могут рассматриваться как методы сокращения неопределенности. В начале разработки устанавливаются цели. Цели должны быть реалистическими, которые, как ожидается, будут

достигнуты в результате приложенных усилий, как это изложено в плане разработки. Поэтому, начальное ожидание или мнение состоит в том, что все цели будут достигнуты. Если же, как это обсуждалось выше, цели будут соответствовать требованиям методологии ИНПРО во всех областях, то ЯЭС, будучи разработанной, будет устойчивой системой энергетики.

По мере развития процесса разработки и сокращения неопределенности, важно пересмотреть мнения и ожидания в отношении достижения цели разработки на основе текущего состояния знаний. Если по мере развития процесса разработки оказывается, что некоторые цели не будут достигнуты, хотя они и были установлены в пределах приемлемости соответствующих критериев, это равнозначно тому, что обнаружены пробелы. Если в процессе развития разработки обнаруживаются все больше и больше пробелов, то все более проблематичными являются ожидаемые итоги разработки с точки зрения устойчивости. Если, с другой стороны, суждения о достижении целей, основанных на имеющейся в настоящее время информации, остаются позитивными по мере выполнения разработки, то повышается вероятность окончательного успеха программы разработки с точки зрения устойчивости.

Если у двух инноваций будут аналогичные цели разработок, причем одна из них будет значительно опережать другую в смысле прогресса разработки, то цели разработки будут, вероятно, достигнуты раньше более зрелой инновацией. Это означает, что при аналогичных целях разработок, более зрелые технологические инновации в целом рассматриваются как менее рискованные.

Сравнивая варианты разработок, следует принимать во внимание стоимость предлагаемых программ разработок и величину риска того, что эта разработка будет полностью успешной. В целом, чем выше риск предложенной разработки и чем выше ее стоимость, то тем большей выгоды следует ожидать от этой инновации. Таким образом, если ожидается, что два варианта разработок приведут к аналогичной выгоде, но один из вариантов находится на более ранней стадии работ и (или) его стоимость выше, то, как правило, предпочтение отдается более зрелому и менее дорогостоящему варианту.

Однако следует также признать и то, что некоторые проекты разработок могут быть обоснованы целым рядом стратегических соображений, которые могут доминировать над другими соображениями, как те, что представлены выше. Например, деятельность по разработке может быть производиться с целью сохранения национального потенциала, либо разрабатывать вариант как, своего рода, страховку. Такие соображения законны, но непосредственно не отражены в требованиях методологии ИНПРО.

#### 6.4. АГРЕГИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЯЭС ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ ЯЭС

На настоящее время предпочтительного подхода к агрегированию не было разработано, но, как отмечено в разделе 5.7 настоящего отчета, некоторые идеи представлены в [1] (раздел 4.4.4 и Приложение В тома 1 Руководства ИНПРО) и в Приложении I настоящего доклада. На основе дискуссии, представленной в разделе 6.3, можно отметить, что разработчику технологии следуют соблюдать осторожность, пытаясь в цифровом виде агрегировать результаты, чтобы получить интегрированный показатель преимущества, который можно было бы использовать для сравнения вариантов. Главное преимущество выполнения ОЯЭС заключается в детальном понимании, которое достигается благодаря выполнению холистической оценки всех областей методологии ИНПРО. Процесс выполнения и документирования оценки может дать такое же глубокое понимание, как и сами результаты оценки.

## 7. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Методология ИНПРО разрабатывалась в течение шести лет. К настоящему времени, она была использована в ограниченном количестве ОЯЭС [5]. Обратная связь от этих ОЯЭС показывает, что методология ИНПРО является полезным инструментом и что результаты, полученные группами оценки, оправдывают время, которое затрачивают эти группы на выполнение оценки. Обратная связь также указала



на необходимость пакета поддержки ОЯЭС, чтобы оказывать помощь специалистам по оценке. Эта публикация представляет собой одну из частей этого пакета поддержки.

Ожидается, что по мере увеличения опыта использования методологии ИНПРО для оценки ядерно-энергетических систем обратная связь от таких исследований приведет к усовершенствованию методологии и ее документации, включая это Руководство. В настоящее время ожидается, что новая версия Руководства ИНПРО [1], пересмотренная, чтобы принять во внимание результаты первых серий исследований, будет выпущена в должное время, возможно уже в 2011 г. или 2012 г. В ходе последующих пересмотров Руководства ИНПРО [1] и этой публикации будут приниматься во внимание результаты применения данной методологии в будущем, что позволит усовершенствовать эти документы. Этой же цели послужат результаты эталонных исследований конкретных случаев, которые также следует включить в пакет поддержки ОЯЭС. Также было предложено сформировать группу пользователей ИНПРО, чтобы вести дальнейшее развитие методологии.



## Приложение I

### КАК СРАВНИВАТЬ ВАРИАНТЫ ЯЭС

#### А.1. ОЦЕНКА ВАРИАНТОВ РАЗРАБОТОК ЯЭС (РАЗРАБОТЧИКАМИ ТЕХНОЛОГИИ)

Предлагаются следующие шаги для оценки разрабатываемых вариантов ЯЭС (или ее компонентов), с целью агрегирования соответствующих результатов оценки, таких, как различные заключения в отношении потенциальных вариантов ЯЭС, и для определения оптимальных вариантов:

- рассмотрите каждый вариант ЯЭС по каждому критерию; сравните суждения о каждом критерии каждого варианта во всех или в предпочитаемых областях ИНПРО;
- для тех критериев, где обнаружено соответствие, такое, как соответствие с пределом приемлемости (ПП), определите, является ли один из вариантов предпочтительнее других с точки зрения ПП. Попытайтесь оценить важность (например, через определения «значительный» или «незначительный») такого критерия с разными уровнями соответствия, обнаруженного в вариантах ЯЭС. Попробуйте оценить превосходство вариантов ЯЭС словами «немного лучше» или «намного лучше»;
- для критериев, которые оцениваются как невыполнимые, например, как «невероятный» на основе имеющейся информации, или как «невероятный» из-за недостатка данных (на данном этапе), определите дифференцированно каждый из них, как пробел. Дифференцированная оценка может описывать пробел как «легко преодолимый», с малыми усилиями (если возможно, определите, сколько это стоит) и с определенными шансами на успех (оцените вероятность успеха), либо определите пробел, как «трудно преодолимый», требующий огромных усилий для преодоления и с неопределенными шансами на успех;
- пренебрегите всеми критериями, которые не показывают различия между вариантами, и сосредоточьтесь на критериях, обеспечивающих различные суждения относительно вариантов ЯЭС;
- перечислите все критерии, по которым один вариант ЯЭС превосходит другие варианты, если возможно, с различными оценками, например, уровня важности и превосходства, а также существующие пробелы, включая оценку усилий по преодолению пробелов и вероятность успеха;
- суммируйте результаты сравненных вариантов ЯЭС, например, путем определения необходимых общих усилий, необходимых для преодоления всех пробелов в каждом варианте, и обсуждая оцененные преимущества каждого варианта.

#### А.2. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ ВАРИАНТОВ ЯЭС (ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ ТЕХНОЛОГИИ):

Следующие шаги предлагаются для оценки различных вариантов ЯЭС (или её компонентов), состоящей из апробированной технологии и агрегированных результатов соответствующей оценки, таких, как различные суждения о перспективности различных вариантов ЯЭС. Также говорится о том, как определить оптимальный вариант.

- Примите решение относительно ранжирования важности областей методологии ИНПРО и выберите самые важные или предпочитаемые области.
- Рассматривайте каждый вариант ЯЭС по каждому критерию (в наиболее важных областях) и сравните суждение о каждом критерии каждого варианта в предпочитаемых областях ИНПРО.
- Для критериев, где соответствие обнаружено, т.е. найдено соответствие с пределами приемлемости (ПП), определите, какой вариант лучше с точки зрения соответствия этим ПП. Можно снова ввести классификацию по важности для критерия и классификацию превосходства относительно суждения (как предлагалось выше для разработки технологии).

- Если найдено несоответствие для критерия ИНПРО из-за нехватки имеющихся данных, например, информации о конструкции ядерной установки, свяжитесь с секретариатом МАГАТЭ/ИНПРО, чтобы получить эти данные. В идеальном случае, у специалиста по оценке ИНПРО должны иметься все данные, чтобы вынести суждение о возможности ЯЭС ответить требованиям методологии ИНПРО. Если, однако, во время выполнения ОЯЭС эти данные отсутствуют, попробуйте определить важность критерия; если критерий определен как не важный, не используйте его при сравнении; если критерий признан важным, постарайтесь определить вероятность для варианта ЯЭС несоответствия этому критерию. В любом случае необходимо определить последующие действия для получения необходимых данных.
- Если существует несоответствие, что означает наличие пробела на основе суждения «не имеет потенциала», определите усилия, необходимые для закрытия пробела и вероятность закрытия его (как предлагалось выше для разработки технологии). Если предполагаемое усилие является чрезмерным, не рассматривайте этот вариант.
- Пренебрегите всеми критериями, которые не показывают различия между вариантами, сосредоточьтесь на критериях, которые приводят к различным суждениям для вариантов ЯЭС.
- Перечислите все критерии, при которых один вариант ЯЭС превосходит другие варианты, включая классификацию по превосходству и важности критериев, критерии с пробелами на основе суждения «не имеет потенциала», включая классификацию относительно усилий, требуемых для закрытия пробела и вероятность успеха, и, наконец, критерии, для которых данные отсутствуют.
- Суммируйте результаты сравнения для вариантов ЯЭС, обсуждая оцененные преимущества каждого варианта, определяя полную величину усилий, необходимых для преодоления пробелов в каждом варианте, и обсуждая критерии, для которых данные отсутствовали.

# ГЛОССАРИЙ

**анализ (analysis)** «Анализ» - процесс использования качественного или количественного инструментария, такого как компьютерные модели, для получения, в основном, численных результатов, которые могут использоваться в качестве входных данных в «оценку» ИНПРО (см. определение «оценка»). Типичный пример «анализа» - детерминистический и/или вероятностный анализ безопасности ядерных установок, результаты которого нужны в качестве входных данных для оценки безопасности ИНПРО, описанной в ссылке [1] (Тома 8 и 9 Руководства ИНПРО).

**внутренне присущая безопасность (inherent safety).** Ядерная установка обладает внутренне присущей характеристикой безопасности в отношении потенциальной опасности в том случае, если опасность по проекту является физически невозможной. В качестве примера: помещение без горючих материалов обладает внутренне присущей противопожарной безопасностью.

**глубокоэшелонированная защита (defence in depth).** Глубокоэшелонированная защита (ГЭЗ) обеспечивает стратегию мер по обеспечению безопасности и особенностей ядерных установок, чтобы предотвратить аварии и, в случае, если превентивные меры оказываются безрезультатными, ограничить и смягчить их потенциальные последствия. ГЭЗ характеризуется пятью уровнями защиты: уровень 1 имеет дело с предупреждением аномальных событий и аварий; уровень 2 - с контролем нарушения нормальной эксплуатации и обнаружением отказов; уровень 3 - с контролем проектных аварий; уровень 4 - с контролем тяжелого состояния станции, включая предупреждение и уменьшение последствий тяжелых аварий; и уровень 5 - со смягчением радиологических последствий существенных выбросов радиоактивного материала.

**замкнутый ядерный топливный цикл (closed nuclear fuel cycle).** Это – такой топливный цикл, в котором использованное (отработавшее) топливо подвергается переработке с целью возврата остаточного способного к делению (и воспроизводящего) материала, который затем вводится в свежее топливо, которое загружается в реактор (см. также определение «открытый ядерный топливный цикл»).

**индикатор (indicator).** Индикатор является частью критерия (см. определение «критерий»). В рамках методологии ИНПРО используются два типа «индикаторов»: численные и логические индикаторы. Логический «индикатор» обычно представлен в виде вопроса, на который в ходе оценки дают либо положительный (да), либо отрицательный (нет) ответ. Численный «индикатор», обычно основан на измеренной или расчетной величине, которая отражает какую-либо особенность ядерной энергетической системы, такую как вероятность тяжелого повреждения активной зоны после аварии.

**инновационный проект (innovative design).** «Инновационный проект» ядерной установки – это перспективный проект, который включает в себя радикальные концептуальные изменения подходов к проектированию или в конфигурации системы по сравнению с существующими проектами (в рамках методологии ИНПРО «существующий проект» означает проект станции, эксплуатируемой на конец 2004 г.).

**конечная стадия ядерного топливного цикла (back end of the nuclear fuel cycle).** Это включает в себя обращение, переработку и захоронение использованного (отработавшего) ядерного топлива после его выгрузки из реактора. В замкнутом ядерном топливном цикле (см. определение «замкнутый ядерный топливный цикл») это приводит к повторному изготовлению свежего топлива. Во всех типах топливных циклов конечная стадия включает в себя окончательное захоронение радиоактивных отходов высокого уровня активности.

**критерий (criterion).** «Критерий» дает специалисту по оценке возможность проверить, выполнил ли адресат соответствующего требования пользователя (см. определение «требования пользователя») то, что от него требовали. Критерий состоит из индикатора и предела приемлемости.

**культура безопасности (safety culture).** Термин «культура безопасности» был введен в 1986 году Международной группой по ядерной безопасности (ИНСАГ). Это - комплекс характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, которые устанавливают, что, в качестве важнейшего приоритета, проблемы защиты и безопасности получают соответствующее их значимости внимание.

**Международный форум «Поколение IV» (Generation IV International Forum)** Этот форум был основан в 2001 году Министерством энергетики США вместе с Аргентиной, Бразилией, Канадой, Францией, Японией, Республикой Корея, и СК. Позже присоединились Южная Африка, Швейцария, Европейский союз, Российская Федерация и Китай. Международная группа экспертов отобрала шесть типов перспективных ядерных реакторов (называемых реакторами Поколения IV) и их технологий топливного цикла, которые будут разработаны совместно в течение последующих 15 - 25 лет, а именно: газоохлаждаемый реактор на быстрых нейтронах, реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем, реактор на солевых расплавах, водоохлаждаемый реактор со сверхкритическими параметрами и сверхвысокотемпературный реактор.

**методология ИНПРО (INPRO methodology).** Методология ИНПРО была разработана в ходе работ по Фазе 1 ИНПРО. Она состоит из иерархии требований (основные принципы, требования пользователей и критерии), направленных на различные заинтересованные стороны, участвующие в ядерно-энергетической программе: на проектантов и разработчиков ядерных технологий, операторов ядерных установок, правительства, обладающие ядерно-энергетической программой, и на национальные отрасли промышленности, вовлеченные в такие программы.

**начальная стадия ядерного топливного цикла (front end of the nuclear fuel cycle) .** Начальная стадия ядерного топливного цикла включает в себя предприятия по добыче/переработке урановых (или ториевых) руд, конверсии, обогащению и изготовлению тепловыделяющих элементов.

**область методологии ИНПРО (area of INPRO methodology).** В рамках оценки с использованием методологии ИНПРО должны охватываться следующие аспекты: экономика, организационно-правовые меры (инфраструктура), обращение с отходами, устойчивость к распространению, физическая защита, окружающая среда (воздействие стрессоров и доступность ресурсов), и безопасность ядерных реакторов и установок ядерного топливного цикла.

**основной принцип (basic principle).** В рамках методологии ИНПРО «основной принцип» определяет цель или плановый показатель для каждой области (см. определение «область»), которые должны быть достигнуты, если ядерная энергетическая система в долгосрочном плане должна быть устойчивой энергетической системой (см. определение «устойчивость»), что означает, что она сможет работать, по меньшей мере, до конца XXI века.

**открытый ядерный топливный цикл (open nuclear fuel cycle).** «Открытый топливный цикл» (или однократный топливный цикл) является топливным циклом, в котором топливо не перерабатывается после использования в реакторе. Использованное (или отработавшее) топливо выдерживается во временном хранилище до загрузки в окончательное хранилище.

**оценка (assessment).** «Оценка» ядерной энергетической системы (см. определение «ядерная энергетическая система») определяется как процесс, выполняемый оценщиком ИНПРО путем сбора необходимой информации из аналитических докладов и другой соответствующей документации, такой как проектные описания, и проверки на соответствие критериям ИНПРО (см. определение «критерий»).

**оценка ядерной энергетической системы (nuclear energy system assessment).** Оценка ядерной энергетической системы (ОЯЭС) с использованием методологии ИНПРО проверяет устойчивость

ядерной энергетической системы, и, в случае обнаружения пробелов, определяет необходимость последующих мер, направленных на достижение устойчивости.

**пассивная система (passive system).** «Пассивная система» является реакторной системой (безопасности), которая состоит из пассивных элементов (например, приводимых в действие силой тяжести), которые не требуют для своего действия никакого внешнего входного сигнала или активных элементов (насосов или клапанов с механическим приводом).

**предел приемлемости (acceptance limit)** - Критерий (см. определение «критерий») в методологии ИНПРО состоит из «индикатора» (см. определение «индикатор» — И), и «предела приемлемости» (ПП). ПП – целевой показатель, качественный или количественный, в сопоставлении с которым величина И сравнивается оценщиком ИНПРО, приводя к заключению о приемлемости (приёмка/отбраковка, хороший/плохой, лучше/хуже).

**предметное исследование (case study).** В пределах Фазы 1 проекта ИНПРО участниками ИНПРО были выполнены несколько «предметных исследований» с целью валидации методологии ИНПРО. В пределах «предметного исследования» обычно выбиралась типичная ядерно-энергетическая система и выполнялась её оценка, чем проверялась полезность основных принципов, требований пользователей и критериев методологии ИНПРО.

**реактор-размножитель (breeder reactor)** . «Реактор-размножитель» - ядерный реактор, в котором энергия в топливе высвобождается за счет расщепления делящегося материала (то есть  $^{235}\text{U}$ ,  $^{233}\text{U}$ , Pu), причем в то же самое время делящегося материала производится больше, чем потребляется, за счет захвата нейтронов в воспроизводящем материале (то есть  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ). Отношение произведенного делящегося материала к потребленному делящемуся материалу называется коэффициентом воспроизводства, и в «реакторе-размножителе» должно превышать единицу (если бы это отношение составляло менее единицы, такой реактор назывался бы «реактор-конвертер»).

**требование пользователя (user requirement).** В рамках методологии ИНПРО «требование пользователя» определяет, что должны сделать специфические заинтересованные стороны (или пользователя), такие как разработчики проекта, эксплуатирующие организации, правительства или национальные отрасли промышленности, участвующие в ядерно-энергетической программе, для того, чтобы достичь устойчивости этой программы. Выполнение требований пользователей проверяется оценщиком посредством оценки соответствующих критериев.

**устойчивость (sustainability).** В 1987 г. Комиссия Брундтланда определила устойчивое развитие как “развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, без ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности”. Устойчивость поставок энергии является важным и необходимым условием для страны, стремящейся обеспечить устойчивое развитие. Ядерная энергия - одна из возможностей обеспечения устойчивости системы поставки энергии. Главная цель ИНПРО состоит в том, чтобы оказать помощь в обеспечении доступности ядерной энергии с тем, чтобы внести вклад в устойчивое удовлетворение энергетических потребностей в XXI веке. Методология ИНПРО была разработана для того, чтобы проверять устойчивость ядерных энергетических систем. Ядерно-энергетическая система устойчива, например, если она будет работать, по меньшей мере, до конца XXI века, при условии выполнения всех критериев ИНПРО во всех областях методологии ИНПРО.

**целостный (holistic).** В рамках методологии ИНПРО термин «целостный» требует от оценщика рассмотрения ядерно-энергетической системы в целом, включая все ядерные установки, начиная с добычи и переработки руд до окончательного хранилища ядерных отходов, а также учета полного срока службы всех этих установок и оценки всех областей методологии ИНПРО.

**эволюционный проект (evolutionary design).** «Эволюционный проект» ядерной установки - усовершенствованный проект, который был улучшен по сравнению с существующими проектами (в рамках методологии ИНПРО, «существующий проект» означает проект станции, находящейся в эксплуатации на конец 2004 г.), путем внедрения малых или средних модификаций, уделяя особое внимание обеспечению «доказательности» проекта, чтобы свести к минимуму технологические риски (см. также определение «инновационный проекта»).

**ядерно-энергетическая система (nuclear energy system).** «Ядерно-энергетическая система» состоит из всех ядерных установок начальной и конечной стадий топливного цикла, таких как добыча и переработка, конверсия, обогащение, изготовление топлива, реактор, установки для обращения с отходами, установки для переработки и окончательного хранения ядерных отходов. Система может содержать эволюционные и инновационные проекты ядерных установок.



## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems, INPRO Manual, IAEA-TECDOC-1575, Rev. 1, IAEA, Vienna (2008).
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Choosing the Nuclear Power Option: Factors to be Considered, STI/PUB/1050, IAEA, Vienna (1998).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Guidance for the Evaluation of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, Report of Phase 1A of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO), IAEA-TECDOC-1362, IAEA, Vienna (2003).
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methodology for the Assessment of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, Report of Phase 1B (first part) of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO), IAEA-TECDOC-1434, IAEA, Vienna (2004).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Nuclear Energy Systems Assessment (NESA) using the INPRO Methodology, IAEA-TECDOC-1636, IAEA, Vienna (2009).
- [6] BRUNDTLAND COMMISSION, "Our Common Future", World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford (1987).
- [7] Nuclear power: The critical issue of safety, The Economist, March 21–27 (2009) 65.
- [8] Proliferation and nuclear power: Food for thought, The Economist, March 21–27 (2009) 66.
- [9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Sustainable Energy for the 21st Century, IAEA Tools and Methodologies for Energy System Planning and Nuclear Energy System Assessments, IAEA, Vienna (2009). [www.iaea.org/INPRO](http://www.iaea.org/INPRO)
- [10] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Принципы обращения с радиоактивными отходами, Серия изданий МАГАТЭ по безопасности, № 111-F, МАГАТЭ, Вена (1996).
- [11] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКОЕ СООБЩЕСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Основовоплагающие принципы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).
- [12] MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, The Future of Nuclear Power, An Interdisciplinary MIT Study, MIT (2003).
- [13] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, The Economics of the Nuclear Fuel Cycle, Nuclear Energy Agency, OECD, Paris (1994).
- [14] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Projected Costs of Generating Electricity (2010), Nuclear Energy Agency, OECD, Paris (2010).
- [15] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, The Economics of Nuclear Power, [www.world-nuclear.com/info/inf02.html](http://www.world-nuclear.com/info/inf02.html) (2009).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1, IAEA, Vienna (2007).
- [17] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка положения дел в области развития национальной ядерной инфраструктуры, Серия изданий МАГАТЭ по ядерной энергии, № NG-T-3.2, МАГАТЭ, Вена (2009).



## СОКРАЩЕНИЯ

|               |  |
|---------------|--|
| АЛАРП (АЛАРА) | практически целесообразный низкий уровень с учетом экономических и социальных факторов |
| АЭС           | атомная электростанция   |
| АЯЭ           | Агентство по ядерной энергии (ОЭСР)  |
| ВАБ           | вероятностный анализ безопасности  |
| ВВЭР          | водо-водяной энергетический реактор  |
| ВТР           | высокотемпературный реактор  |
| ВЯА           | Всемирная ядерная ассоциация   |
| ГК            | Генеральная конференция МАГАТЭ   |
| И             | индикатор (ИНПРО)  |
| ИНПРО         | Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (МАГАТЭ)    |
| ИНСАГ         | Международная консультативная группа по ядерной безопасности (МАГАТЭ)                  |
| ИРиД          | исследования, разработка и демонстрация  |
| К             | критерий (ИНПРО)   |
| КИП и СУЗ     | контрольно-измерительные приборы и системы управленияавтоматика                        |
| ЛВР           | легководный реактор  |
| МГЭИК         | Межправительственная группа экспертов по изменению климата                             |
| МКРЗ          | Международная комиссия по радиологической защите                                       |
| МТИ           | Массачусетский технологический институт (США)  |
| МФП           | Международный форум «Поколение IV»   |
| МЭА           | Международное энергетическое агентство (ОЭСР)  |
| ОП            | основной принцип (ИНПРО)   |
| ОЭСР          | Организация экономического сотрудничества и развития                                   |
| ОЯЭС          | оценка ядерно-энергетической системы (ИНПРО)   |
| ПП            | предел приемлемости (ИНПРО)  |

|       |   |
|-------|---|
| РиТ   | разделение и трансмутация                               |
| РСР   | реактор на солевых расплавах                            |
| ТП    | требование пользователя (ИНПРО)                         |
| УТЦ   | установка ядерного топливного цикла                     |
| ЭПРИ  | Научно-исследовательский энергетический институт (США)  |
| ЯМ    | ядерный материал  |
| ЯЭС   | ядерно-энергетическая система                           |
| BWR   | реактор, охлаждаемый кипящей водой                      |
| CANDU | канадский дейтериево-урановый реактор                   |
| HWR   | тяжеловодный реактор                                    |
| PHWR  | реактор, охлаждаемый тяжелой водой под давлением        |
| PWR   | реактор, охлаждаемый водой под давлением                |
| SCPR  | суперкритический водоохлаждаемый энергетический реактор |

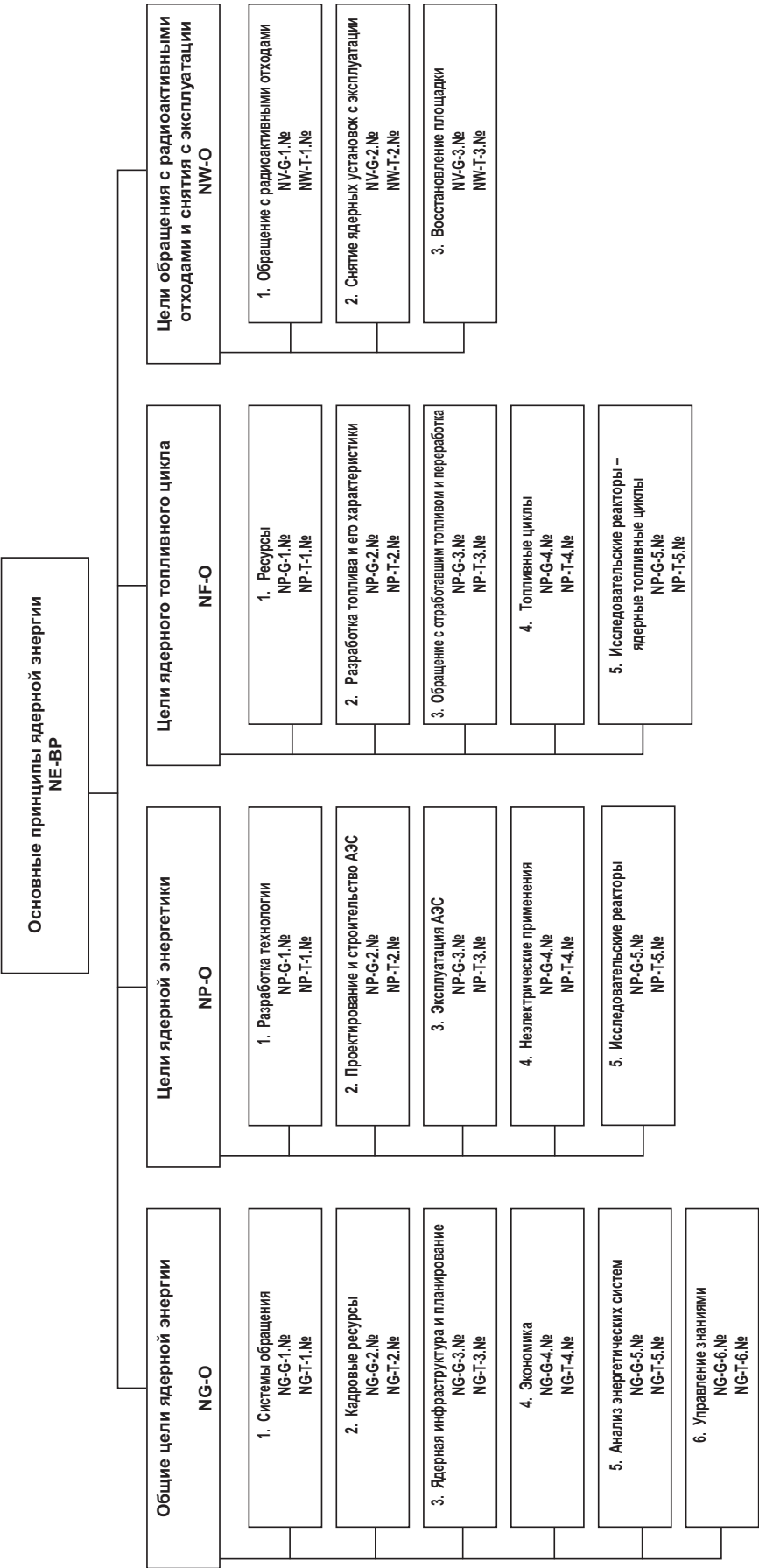
## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

|               |  |
|---------------|--|
| Allan, C.     | Международное Агентство по атомной энергии |
| Beatty, R.    | Международное Агентство по атомной энергии |
| Depisch, F.   | Международное Агентство по атомной энергии |
| Gowin, P.     | Международное Агентство по атомной энергии |
| Hayashi, H.   | Международное Агентство по атомной энергии |
| Khartabil, H. | Международное Агентство по атомной энергии |
| Korinny, A.   | Международное Агентство по атомной энергии |
| Kovacic, D.   | Международное Агентство по атомной энергии |
| Pane, J.      | Международное Агентство по атомной энергии |
| Sokolov, Y.   | Международное Агентство по атомной энергии |
| Starz, A.     | Международное Агентство по атомной энергии |





Структура Серии документов МАГАТЭ по ядерной энергии



Код

BP:

O:

G:

T:

Номера 1-6:

№:

Основные принципы  
Цели  
Руководства  
Технические доклады  
Обозначение тем  
Руководства или доклада (1, 2, 3 и т.д.)

Примеры

NG-G-3.1: Общие цели ядерной энергии (NG) Руководство, Ядерная Инфраструктура и планирование (тема 3), №1  
NP-T-5.4: Ядерная энергетика (NP), Доклад (T), Исследовательские реакторы (тема 5), №4  
NF-T-3.6: Ядерное топливо (NF), Доклад (T), Обращение с отработавшим топливом и переработка, №6  
NW-G-1.1: Обращение с радиоактивными отходами и снятие с эксплуатации (NW),  
Руководство, Радиоактивные (тема 1), №1





# IAEA

Международное агентство по атомной энергии

№ 22

## Где заказать публикации МАГАТЭ

В указанных странах публикации МАГАТЭ могут быть приобретены у перечисленных ниже поставщиков или в крупных книжных магазинах. Оплата может производиться в местной валюте или купонами ЮНЕСКО.

### АВСТРАЛИЯ

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132  
Телефон: +61 3 9210 7777 • Факс: +61 3 9210 7788  
Эл. почта: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Веб-сайт: <http://www.dadirect.com.au>

### БЕЛЬГИЯ

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels  
Телефон: +32 2 538 43 08 • Факс: +32 2 538 08 41  
Эл. почта: [jean.de.lannoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lannoy@infoboard.be) • Веб-сайт: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### ВЕНГРИЯ

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Телефон: +36 1 257 7777 • Факс: +36 1 257 7472 • Эл. почта: [books@librotrade.hu](mailto:books@librotrade.hu)

### ГЕРМАНИЯ

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Телефон: +49 228 94 90 20 • Факс: +49 228 94 90 20 или +49 228 94 90 222  
Эл. почта: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de) • Веб-сайт: <http://www.uno-verlag.de>

### ИНДИЯ

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,  
Телефон: +91 22 22617926/27 • Факс: +91 22 22617928  
Эл. почта: [alliedpl@vsnl.com](mailto:alliedpl@vsnl.com) • Веб-сайт: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Телефон: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Факс: +91 11 23281315  
Эл. почта: [bookwell@vsnl.net](mailto:bookwell@vsnl.net)

### ИСПАНИЯ

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Телефон: +34 91 781 94 80 • Факс: +34 91 575 55 63  
Эл. почта: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es), [carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es), [barcelona@diazdesantos.es](mailto:barcelona@diazdesantos.es), [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es)  
Веб-сайт: <http://www.diazdesantos.es>

### ИТАЛИЯ

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan  
Телефон: +39 02 48 95 45 52 или 48 95 45 62 • Факс: +39 02 48 95 45 48  
Эл. почта: [info@libreriaaeiou.eu](mailto:info@libreriaaeiou.eu) • Веб-сайт: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)

### КАНАДА

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, USA  
Телефон 1-800-865-3457 • Факс: 1-800-865-3450  
Эл. почта: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Телефон: +613 745 2665 • Факс: +613 745 7660  
Эл. почта: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

### КИТАЙ

Публикации МАГАТЭ на китайском языке:  
China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

### НИДЕРЛАНДЫ

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen  
Телефон: +31 (0) 53 5740004 • Факс: +31 (0) 53 5729296  
Эл. почта: [books@delindeboom.com](mailto:books@delindeboom.com) • Веб-сайт: <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Телефон: +31 793 684 400 • Факс: +31 793 615 698  
Эл. почта: [info@nijhoff.nl](mailto:info@nijhoff.nl) • Веб-сайт: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Телефон: +31 252 435 111 • Факс: +31 252 415 888  
Эл. почта: [info@swets.nl](mailto:info@swets.nl) • Веб-сайт: <http://www.swets.nl>

## **НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ**

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia  
Телефон: +61 3 9210 7777 • Факс: +61 3 9210 7788  
Эл. почта: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Веб-сайт: <http://www.dadirect.com.au>

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ**

Dept. 1004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, USA  
(UN) Телефон: +800 253-9646 или +212 963-8302 • Факс: +212 963-3489  
Эл. почта: [publications@un.org](mailto:publications@un.org) • Веб-сайт: <http://www.un.org>

## **РЕСПУБЛИКА КОРЕЯ**

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seoul 137 130  
Телефон: +02 589 1740 • Факс: +02 589 1746 • Веб-сайт: <http://www.kins.re.kr>

## **СЛОВЕНИЯ**

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Телефон: +386 1 432 31 44 • Факс: +386 1 230 14 35  
Эл. почта: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Веб-сайт: <http://www.cankarjeva-z.si/uvvoz>

## **СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО**

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 29, Norwich, NR3 1 GN  
Телефон (заказы): +44 870 600 5552 • (справки): +44 207 873 8372 • Факс: +44 207 873 8203  
Эл. почта (заказы): [book.orders@tso.co.uk](mailto:book.orders@tso.co.uk) • (справки): [book.enquiries@tso.co.uk](mailto:book.enquiries@tso.co.uk) • Веб-сайт: <http://www.tso.co.uk>

Онлайн-заказы

DELTA Int Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Эл. почта: [info@profbooks.com](mailto:info@profbooks.com) • Веб-сайт: <http://www.profbooks.com>

Книги по экологии

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Телефон: +44 1438748111 • Факс: +44 1438748844  
Эл. почта: [orders@earthprint.com](mailto:orders@earthprint.com) • Веб-сайт: <http://www.earthprint.com>

## **СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ**

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346  
Телефон: 1-800-865-3457 • Факс: 1-800-865-3450  
Эл. почта: [customer-care@bernan.com](mailto:customer-care@bernan.com) • Веб-сайт: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669  
Телефон: +888 551 7470 (бесплатный) • Факс: +888 568 8546 (бесплатный)  
Эл. почта: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Веб-сайт: <http://www.renoufbooks.com>

## **ФИНЛЯНДИЯ**

Akateeminen Kirjakauppa, PO BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Телефон: +358 9 121 41 • Факс: +358 9 121 4450  
Эл. почта: [akatilauk@akateeminen.com](mailto:akatilauk@akateeminen.com) • Веб-сайт: <http://www.akateeminen.com>

## **ФРАНЦИЯ**

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Телефон: +33 1 42 01 49 49 • Факс: +33 1 42 01 90 90  
Эл. почта: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr) • Веб-сайт: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Телефон: +33 1 47 40 67 02 • Факс: +33 1 47 40 67 02  
Эл. почта: [romuald.verrier@lavoisier.fr](mailto:romuald.verrier@lavoisier.fr) • Веб-сайт: <http://www.lavoisier.fr>

## **ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА**

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praha 9  
Телефон: +420 26603 5364 • Факс: +420 28482 1646  
Эл. почта: [nakup@suweco.cz](mailto:nakup@suweco.cz) • Веб-сайт: <http://www.suweco.cz>

## **ЯПОНИЯ**

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027  
Телефон: +81 3 3275 8582 • Факс: +81 3 3275 9072  
Эл. почта: [journal@maruzen.co.jp](mailto:journal@maruzen.co.jp) • Веб-сайт: <http://www.maruzen.co.jp>

**Заказы и запросы в отношении информации можно также направлять непосредственно по адресу:**

**Группа сбыта и маркетинга, Международное агентство по атомной энергии -**

**Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency**

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Телефон: +43 1 2600 22529 (или 22530) • Факс: +43 1 2600 29302

Эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

**МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ  
БЕНА**

**ISBN 978-92-0-416310-0**

**ISSN 1995-7807**