

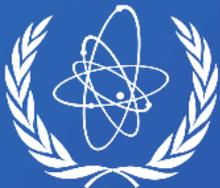


IAEA

International Atomic Energy Agency

Как МАГАТЭ помогает обеспечить устойчивость ядерной энергетики

Вебинар, организованный Международным проектом по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО), 8 декабря 2022 года



IAEA

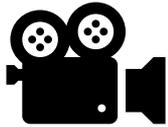
INPRO

International Project on
Innovative Nuclear Reactors
and Fuel Cycles

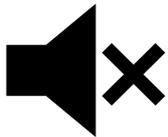
Добро пожаловать



Вы можете задавать вопросы
в панели «Чат»



Вебинар записывается и будет
доступен на веб-сайте МАГАТЭ



Микрофоны участников будут
выключены на время вебинара



Максим Евгеньевич Гладышев

Модератор вебинара

Руководитель группы ИНПРО по
“Диалогу и информационно-
просветительской работе”

ИНПРО – ключевая программа МАГАТЭ



The screenshot shows the IAEA website interface. At the top, there are language options: English, العربية, 中文, Français, Русский, Español. Below this is the IAEA logo and the text 'Международное агентство по атомной энергии'. Navigation links include 'Пресс-центр', 'Трудоустройство', and 'Контакты'. A search bar is present with the text 'Поиск'. The main navigation menu includes 'ТЕМЫ', 'УСЛУГИ', 'РЕСУРСЫ', 'НОВОСТИ И МЕРОПРИЯТИЯ', and 'О НАС'. The breadcrumb trail reads 'Home / Услуги / Ключевые программы'. The main image shows a large industrial structure under construction. The title of the page is 'Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО)'. Below the title, there is a left sidebar with a link to 'Ключевые программы'. The main content area contains two paragraphs of text. The first paragraph describes INPRO as a membership-based project where members receive assistance in long-term planning and cooperation in the field of innovative reactors, fuel cycles, and institutional approaches. The second paragraph states that INPRO began in 2000 to ensure nuclear energy remains a source of energy by the end of the 21st century, serving as a forum for experts and officials to discuss sustainable planning, development, and implementation of nuclear energy. To the right, there is a 'Платформа сотрудничества ИНПРО' section and a 'Новости' section with two news items: 'Первая сессия Совместной школы России и ИНПРО МАГАТЭ способствовала обмену знаниями о ядерной энергетике между экспертами из 14 стран мира' and 'Создание базы знаний для устойчивого развития ядерной энергетик: школа МАГАТЭ STAR-NET по методологии ИНПРО (на англ. языке)'.

<https://www.iaea.org/inpro/>

Докладчики



Ядерная энергетика в России: статус и перспективы

Владимир Васильевич Артисюк, Росатом



Краткая история ИНПРО

Методология ИНПРО для оценки устойчивости ЯЭС

Ключевые проекты и сервис для стран-участниц МАГАТЭ

Александр Викторович Бычков, МАГАТЭ, ИНПРО



Концепция устойчивого развития ядерной энергетики

Михаил Владимирович Хорошев, МАГАТЭ, ИНПРО



Формирование компетенций для стратегического планирования устойчивого развития ядерной энергетики

Андрей Николаевич Косилов, Региональная сеть по образованию и подготовке специалистов в области ядерных технологий STAR-NET



Ядерная инфраструктура для устойчивого развития атомной энергетики

Юлия Валентиновна Черняховская, Росатом Сервис

Александр Викторович Бычков



- Старший эксперт по ядерной энергетике, секция ИНПРО
- До возвращения в МАГАТЭ занимал дипломатическую должность представителя ГК «Росатом» при международных организациях в Вене
- Заместитель генерального директора МАГАТЭ, руководитель Департамента Ядерной Энергии, с 2011 по 2015 год
- С 2006 по 2011 год занимал должность генерального директора Научно-исследовательского института атомных реакторов в Димитровграде, где работал с 1982 года
- Окончил Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова в 1982 году. Кандидат технических наук (1998 г.)
- Основные направления научно-исследовательской деятельности охватывают различные аспекты ядерного топливного цикла, включая: ядерное топливо, переработку ОЯТ, пиропроцесс, реакторы на быстрых нейтронах, обращение с РАО, а также технологии производства радионуклидов, применение исследовательских реакторов и др. Является экспертом в области международного сотрудничества и политических аспектов мирного использования атомной энергии
- Является соавтором более 160 научных публикаций





IAEA

International Atomic Energy Agency

Краткая история ИНПРО

Александр Викторович Бычков
МАГАТЭ, ИНПРО

Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО)



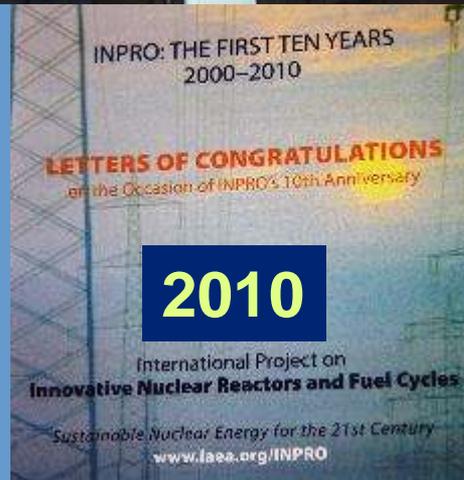
- **International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)** - основан в 2000 году
- Содействовать обеспечению устойчивости ядерной энергетики для удовлетворения растущих энергетических потребностей в текущем столетии и в последующий период

ИНПРО - часть реализации инициативы Президента РФ, объявленной на Саммите Тысячелетия ООН в сентябре 2000

2000



ROSATOM



2010

INTERNATIONAL PROJECT ON INNOVATIVE NUCLEAR REACTORS AND FUEL CYCLES

- Developing sustainable nuclear energy scenarios
- Investigating institutional and technical innovations
- Assessing the sustainability of nuclear energy systems
- Facilitating dialogue between technology holders and users

NESEA Economics Support Tool

International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles
 Division of Nuclear Energy
 Department of Nuclear Energy
 International Atomic Energy Agency

$$LUEC = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}} + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{O_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}} + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{S_i}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^n \frac{B_i}{(1+r)^i}}$$



2020

Assessment Areas



ИНПРО продвигает мирное использование атомной энергии



**Страны-участницы ИНПРО
Заседание управляющего комитета – ноябрь 2022 г.**

Задачи ИНПРО

ИНСТРУМЕНТЫ / УСЛУГИ

ASENES



Задача 1: Глобальные сценарии

Задача 2: Инновации

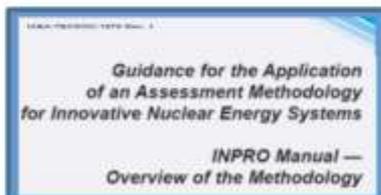
Задача 3: Оценка устойчивости и стратегии

Задача 4: Диалог и разъяснительная работа

Transportable NPP
Akademik Lomonosov



Исследования термоядерного синтеза



SMR NESA



CAREM



SMART



RITM-200M



2021
18-й и 19-й
Диалог Форум

2023
20-й Диалог -
Форум
США Март 2023





IAEA

International Atomic Energy Agency

Спасибо за внимание



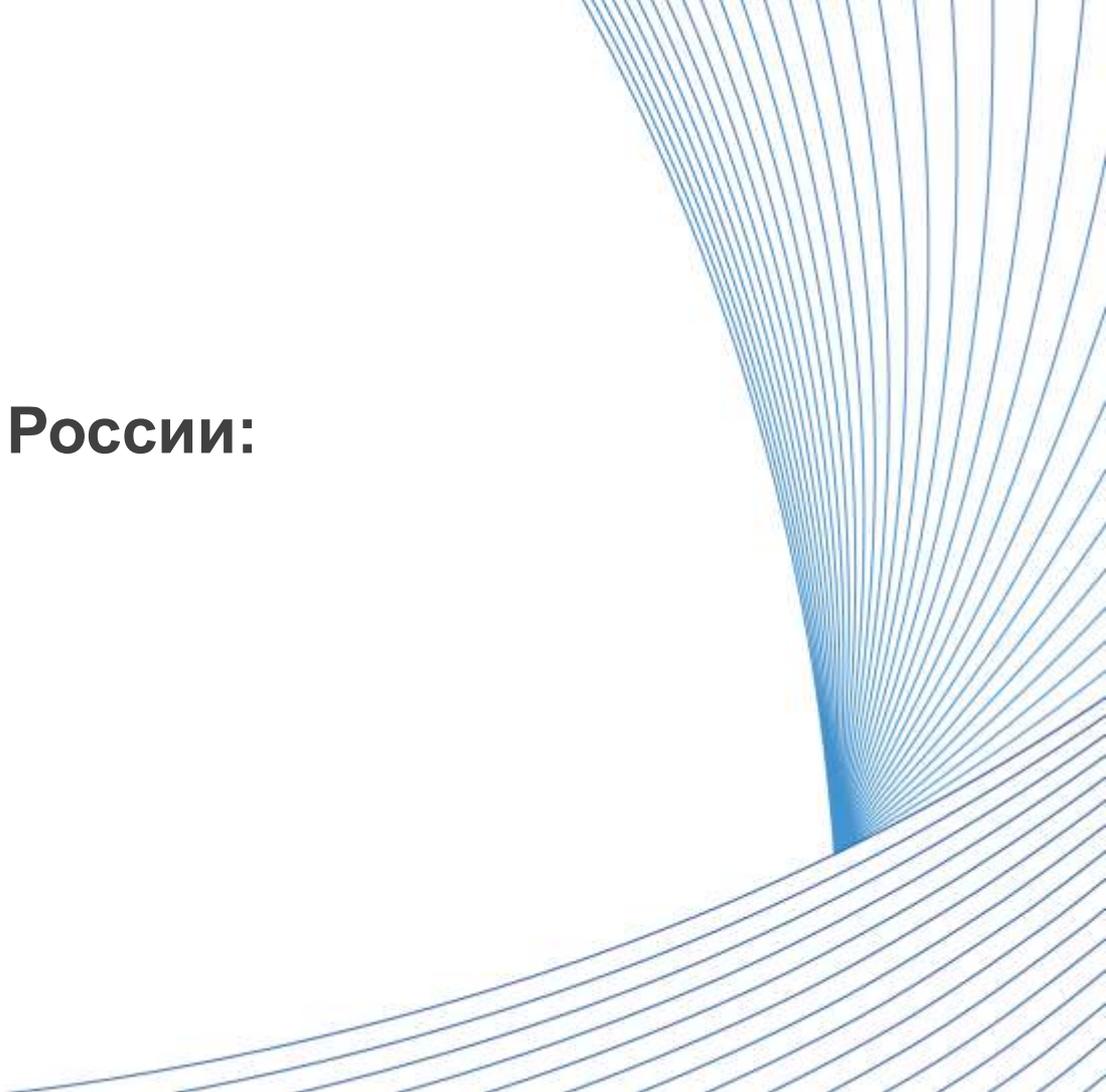
*Александр Викторович БЫЧКОВ
Старший эксперт, ИНПРО МАГАТЭ*



ROSATOM

Ядерная энергетика в России: статус и перспективы

Владимир АРТИСЮК



Владимир АРТИСЮК

- Советник Генерального директора Госкорпорации «Росатом»
Член группы советников ГД МАГАТЭ в области ядерной энергетики (SAGNE)
- Доктор технических наук (2002, Россия), Doctor in Engineering (1997, Japan)
- 2008-2019 Проректор Технической Академии Росатома
по международному сотрудничеству, кооперация с МАГАТЭ
в области подготовки кадров для ядерной инфраструктуры стран-новичков,
- 2004-2008 Проректор по международным связям Обнинского
Института Атомной Энергетики, Профессор кафедры Общей и Специальной Физики
- 1994-2004 PhD student, Assistant, Associate Professor Tokyo Institute of Technology

Более 200 публикаций в международных и российских журналах в области перспективных топливных циклов с трансмутацией радиоактивных отходов и повышенной защищенностью против несанкционированного распространения.



Российская ядерная энергетика

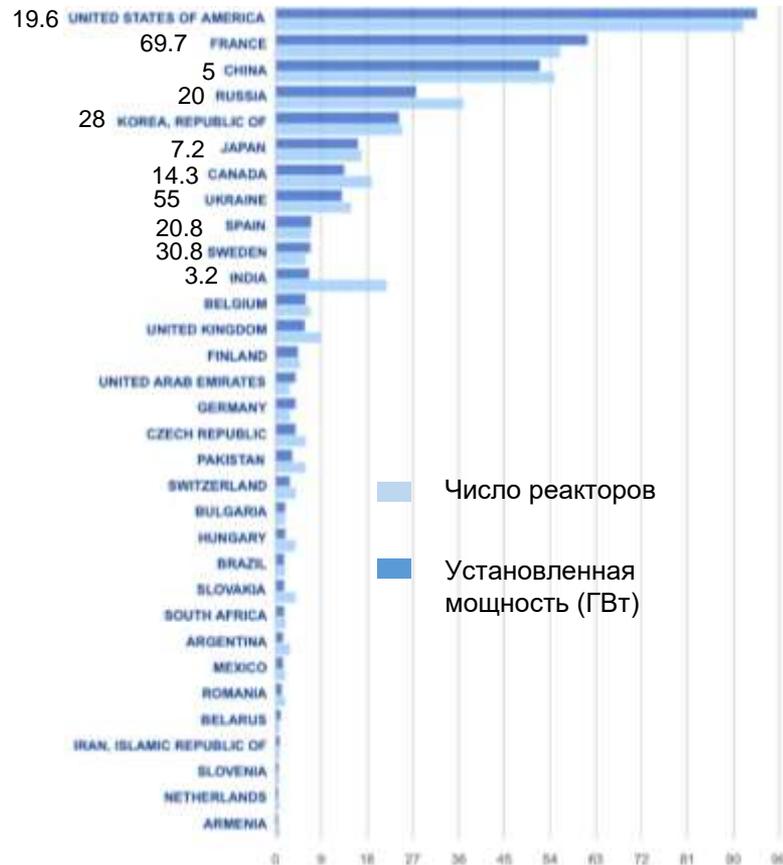
Total Net Electrical Capacity **30 GWt el**



	TAIMYR KLT-40M 1989		YAMAL OK-900A 1989		URAL RITM-200 2019		SIBIR RITM-200 2017		ARKTIKA RITM-200 2016
	VAIGACH KLT-40M 1988		50 Yrs OF VICTORY OK-900A 1993						



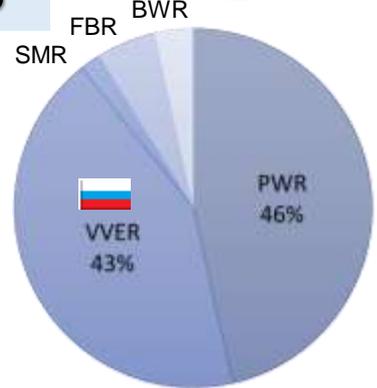
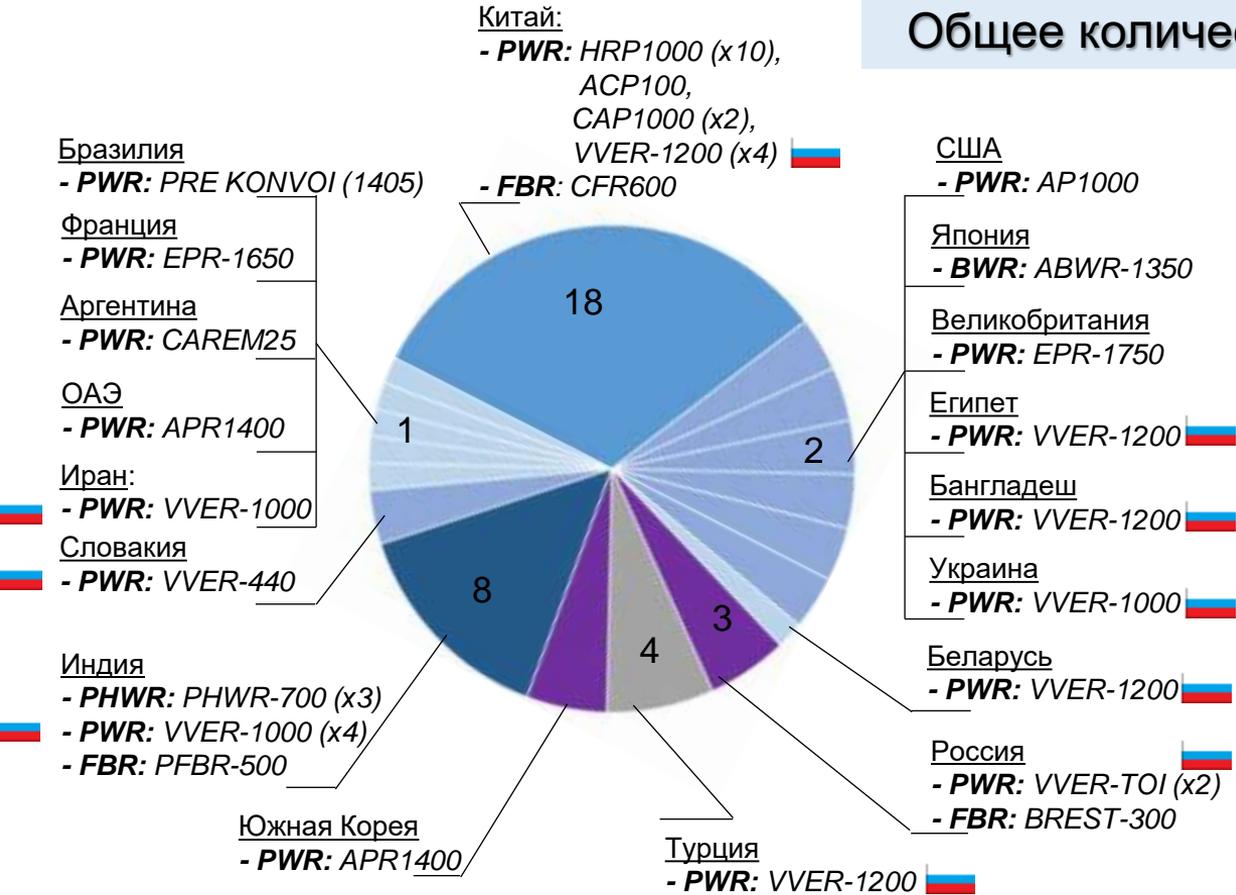
Доля в электрогенерации (%)



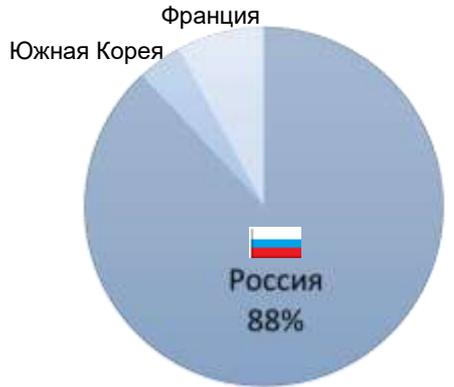
Строительство АЭС в мире



Общее количество : **56**



Типы сооружаемых энергоблоков



Строительство АЭС за рубежом

* По данным World Nuclear Association и Базы МАГАТЭ PRIS на 2022 г.

Крупномасштабная ядерная энергетика российского дизайна

17 АЭС присоединены к сети за 15 лет



События за последний год



22.12.21 #2: Белаоусь
Загрузка топлива



17.01.22 Сюдайпу
3: Установлена ловушка расплава
4: **Первый бетон** 19.05.22



30.04.22 Куданкулам
3: Установка корпуса
6: **Первый бетон** 20.12.21



17.08.22 Аккую
1: Установка турбины
2: Установка корпуса
4: **Первый бетон** 21.07.22



20.10.22 Руппур
1: Установка коллекторов ПГ
2: Установка корпуса



04.10.22 Tianwan
8: **Первый бетон** 28.02.22
7: Изготовление ПГ



Аль Дабаа
1: **Первый бетон** 20.07.22



05.10.22 Kursk-2
1: Установка гермооболочки
2: Строительство гермооболочки

Реакторы малой мощности (SMR)



Ведущий ледокол серии «Арктика» в 2020 завершил ходовые испытания



SMR РИТМ-200
2 x 175 MWt

ПАТЭС «Академик Ломоносов» стартap 19.12.2019



КЛТ-40-S
2 x 70 MWt-el

События за последний год



1-й серийный ледокол «Сибирь»
Начало коммерческой эксплуатации



2-й серийный ледокол «Урал»
Прибыл в порт приписки «Мурманск»



2-й реактор
Для 3-го серийного ледокола «Якутия»
Готов к отправке на судовой верфь



1-й реактор
Для четвертого серийного ледокола «Чукотка»
Сварочные работы



Церемония старта работ по изготовлению баржи (для ПАТЭС с РИТМ-200-S) будут построены 4 ПАТЭС



РИТМ-N АЭС Проект для Якутии
Завершена экологическая экспертиза

2022

83 PMM



Платформа (скорпион)



Быстрые реакторы и замыкание топливного цикла



События за последний год



21.12.21

БН-800 (Белоярская АЭС)
полная загрузка зоны МОКС



09.09.22

ВВЭР-1000 (Балаковская АЭС)
6 ТВС с РЕМИКС



14.04.22

МБИР: корпус доставлен на строительную площадку
(Быстрый ИР 150 MWt, МОХ, Pu-38%)
стартап 2028



Опытно демонстрационный комплекс

Стартап:



Монтаж-и-наладка
Модуль
Фабрикации/рефабрикации
(UPuN)

2024



“БРЕСТ” 300 MWeI

2026



Модуль
переработки

2029

Спасибо за внимание

Владимир АРТИСЮК
Советник Генерального Директора

Mob.: +7 (915) 896 94 84
E-mail: VVArtisyuk@rosatom.ru
www.rosatom.com

08.11.2022



Ядерная энергетика в России:
Статус и перспективы

Михаил Владимирович Хорошев



- Доктор-инженер, ядерная энергетика
- Более 30 лет опыта в ядерной энергетике
- Работал в Департаменте ядерной энергетики МАГАТЭ в качестве научного секретаря по многим проектам
- Разработка методологии ИНПРО, инструментов МАГАТЭ и стратегий сравнительной оценки для оценки ядерной энергии в течение первых 7 лет с момента создания проекта
- В начале своей карьеры работал научным сотрудником, старшим научным сотрудником, инженером-ядерщиком, консультантом и руководителем проектов в Российском исследовательском центре “Курчатовский институт”, Немецком исследовательском центре KFA-Juelich, Нидерландском фонде энергетических исследований ECN-Petten, франко-германской организации по безопасности ядерных установок, Организации Объединенных Наций по промышленному развитию (ЮНИДО)



Концепция устойчивого развития ядерной энергетики

Михаил Владимирович Хорошев
МАГАТЭ, ИНПРО

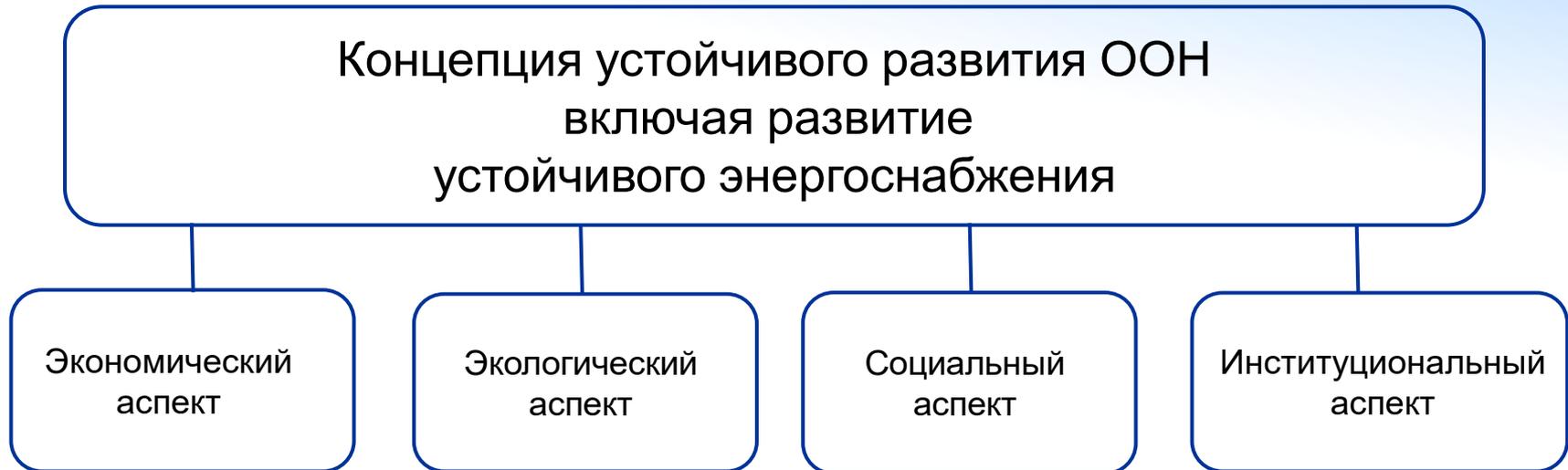
Концепция устойчивого развития ООН включая развитие устойчивого энергоснабжения

Роль энергоснабжения в концепции устойчивого развития

- Энергоснабжение имеет основополагающее значение для устойчивого развития мира
- Устойчивое энергоснабжение требует значительного вклада со стороны ЯЭ

Развитие,
отвечающее
потребностям
настоящего без
ущерба для
способности
будущих
поколений
удовлетворять
свои
собственные
потребности

Составляющие устойчивого развития

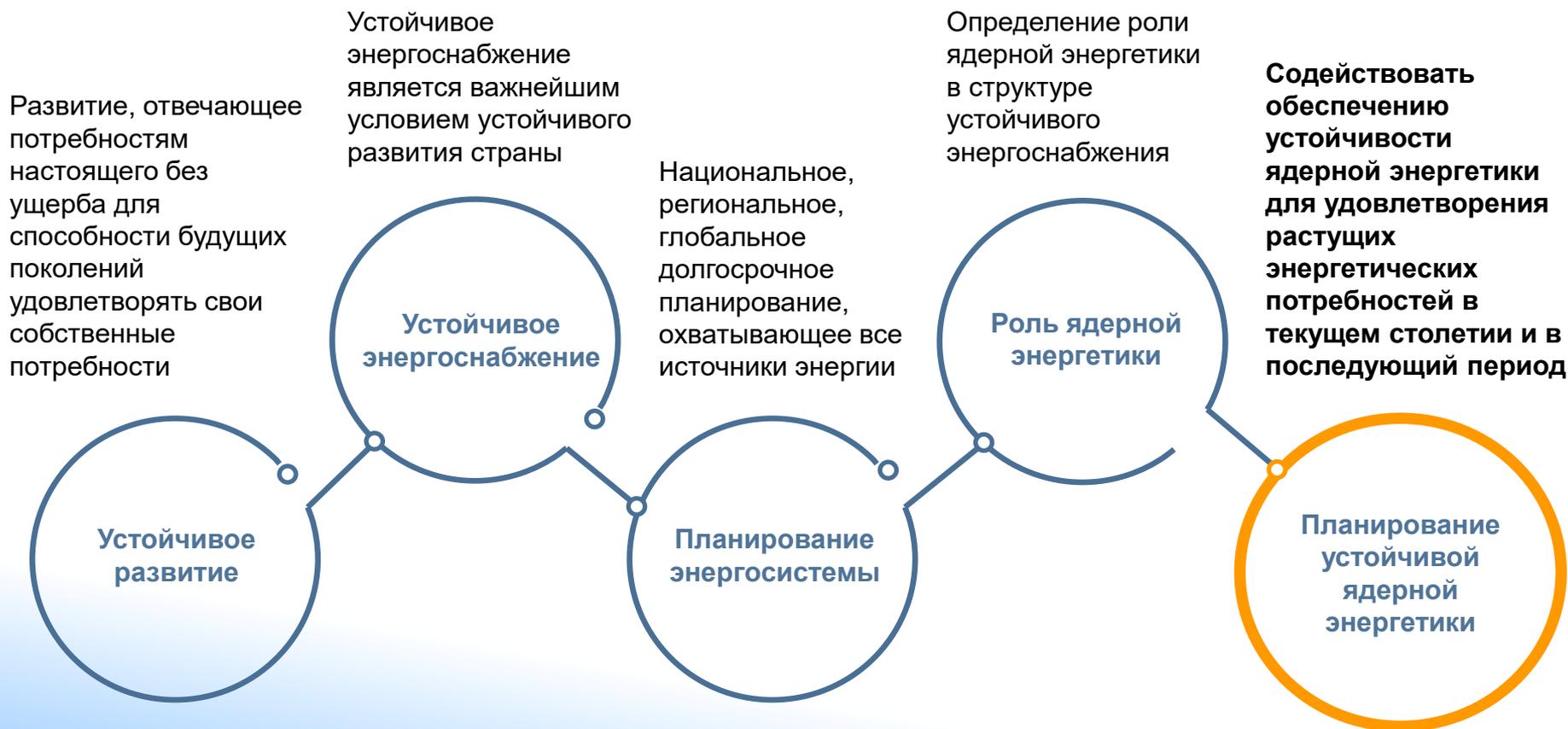


ИНПРО рассматривает все составляющие устойчивого развития, чтобы ЯЭ была доступна для устойчивого энергоснабжения в 21 веке и в дальнейшем

Международный проект по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (ИНПРО)



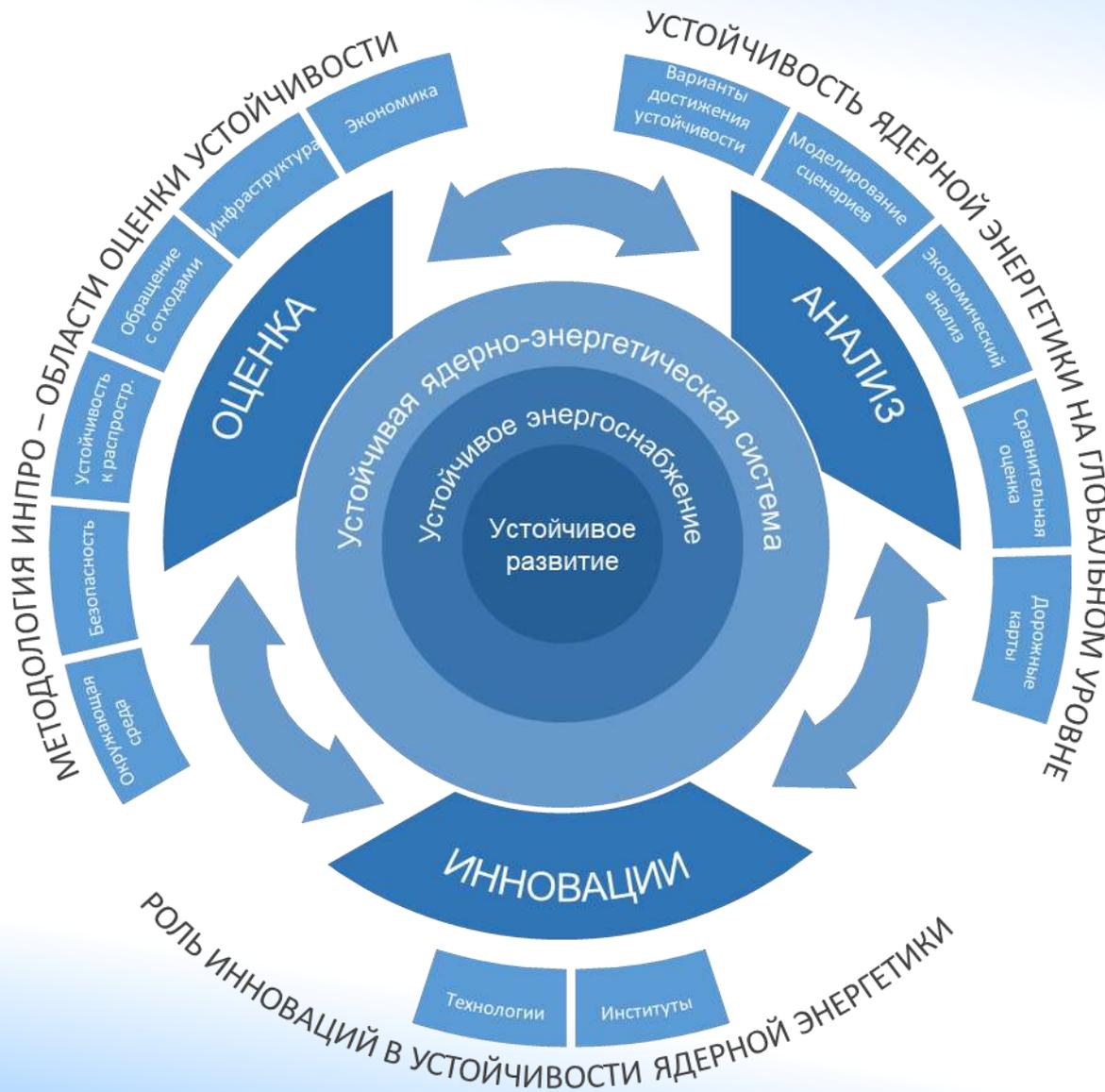
Содействовать обеспечению устойчивости ядерной энергетики для удовлетворения растущих энергетических потребностей в текущем столетии и в последующий период



Как ИНПРО помогает обеспечить устойчивость ЯЭ



Основные направления деятельности ИНПРО



Методология ИНПРО, разработанная для рассмотрения вопросов устойчивости ядерноэнергетики

Концепция ООН по устойчивому развитию энергетики

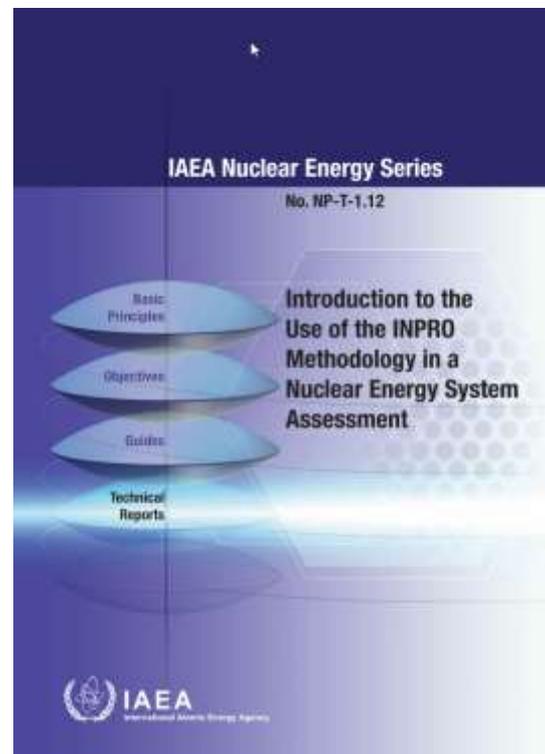
Методология ИНПРО для оценки устойчивости



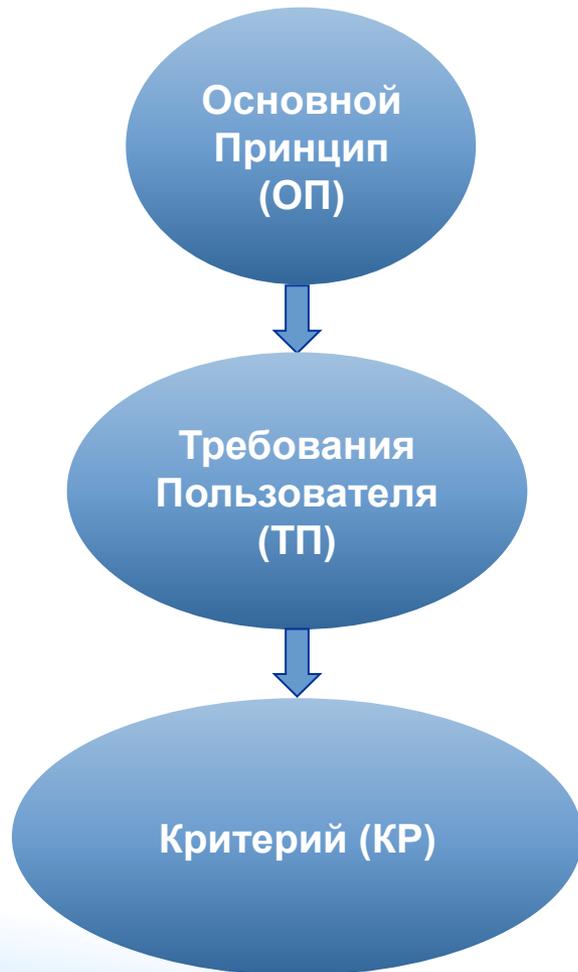
Разработка методологии ИНПРО: Краткая история

- Инструмент МАГАТЭ для оценки устойчивости посредством оценки ядерной энергетической системы (ОЯЭС)
- Впервые опубликован в 2003 г., обновлен в 2008 г., основные изменения в 2014- 2022 гг.
- Вклад более 300 национальных и международных экспертов
- Несколько оценок, проведенных и опубликованных в качестве технических документов МАГАТЭ

Ограниченная оценка устойчивости планируемых систем ядерной энергетики на основе быстрых реакторов БН-1200, МАГАТЭ-TECDOC-1959 (2021)



Методология ИНПРО: Основы



Цели развития устойчивой ядерной энергетической системы (ЯЭС)

Требования для достижения цели, определенной в основном принципе (ОП) для проектировщиков, операторов, промышленности и/или государства

Инструмент оценщика для проверки метрик для ЯЭС чтобы поддерживать соответствие требованиям пользователя (ТП)

Выводы: ИНПРО и концепция устойчивого развития ООН



Общая концепция устойчивого развития ООН:

- включена в цели ИНПРО
- интегрирована в методологию ИНПРО
- ИНПРО рассматривает все аспекты концепции устойчивого развития ООН

Устойчивость ядерной энергетической системы – способность ЯЭС устойчиво функционировать в течение как минимум ста лет и более.

Методология ИНПРО – инструмент для оценки устойчивости ЯЭС

ЯЭС является устойчивой, если она выполняет все критерии ИНПРО во всех областях методологии ИНПРО

Выводы: ИНПРО и концепция устойчивого развития ООН



Метод ИНПРО:

- Моделирование и планирование энергетических систем
- Оценка с использованием целостного подхода
- Решение об инновационной ядерно-энергетической системе (ЯЭС)

ИНПРО вносит свой вклад в глобальное развитие устойчивой энергетики посредством:

- 1) создание стандартизированной методики оценки потенциала ЯЭС ;
- 2) объединение владельцев технологий и пользователей технологий для совместного рассмотрения международных и национальных действий, необходимых для достижения желаемых инноваций;
- 3) создание форума для вовлечения всех соответствующих заинтересованных сторон и содействия текущим инициативам на национальном и международном уровнях.

ИНПРО предоставляет метод, чтобы гарантировать развитие доступной ЯЭ устойчивым образом в текущем столетии и далее



IAEA

International Atomic Energy Agency

Спасибо за внимание



***Михаил Владимирович ХОРОШЕВ
МАГАТЭ, ИНПРО***



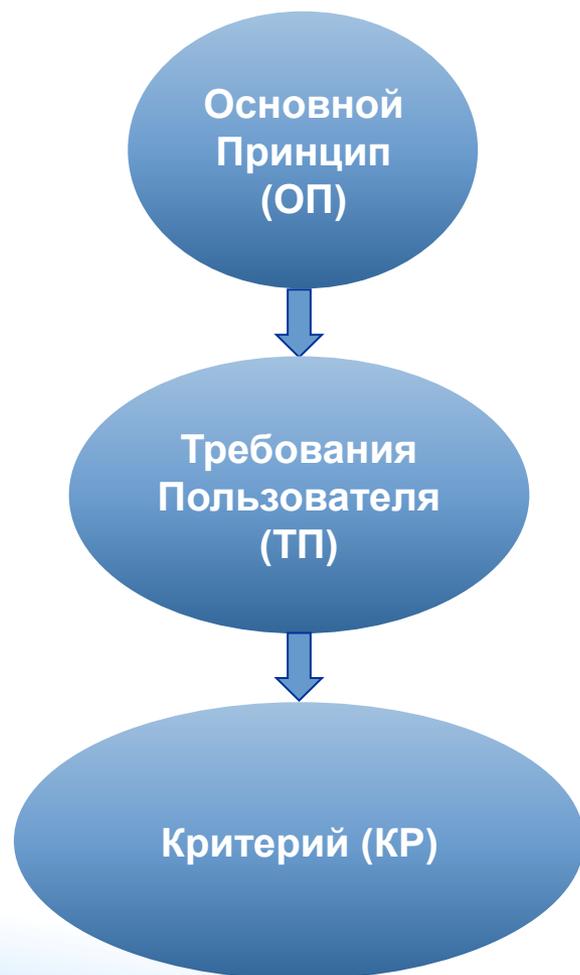
IAEA

International Atomic Energy Agency

Методология ИНПРО для оценки устойчивости ядерно-энергетических систем

Александр Викторович Бычков
МАГАТЭ, ИНПРО

Методология ИНПРО: Основы системного подхода

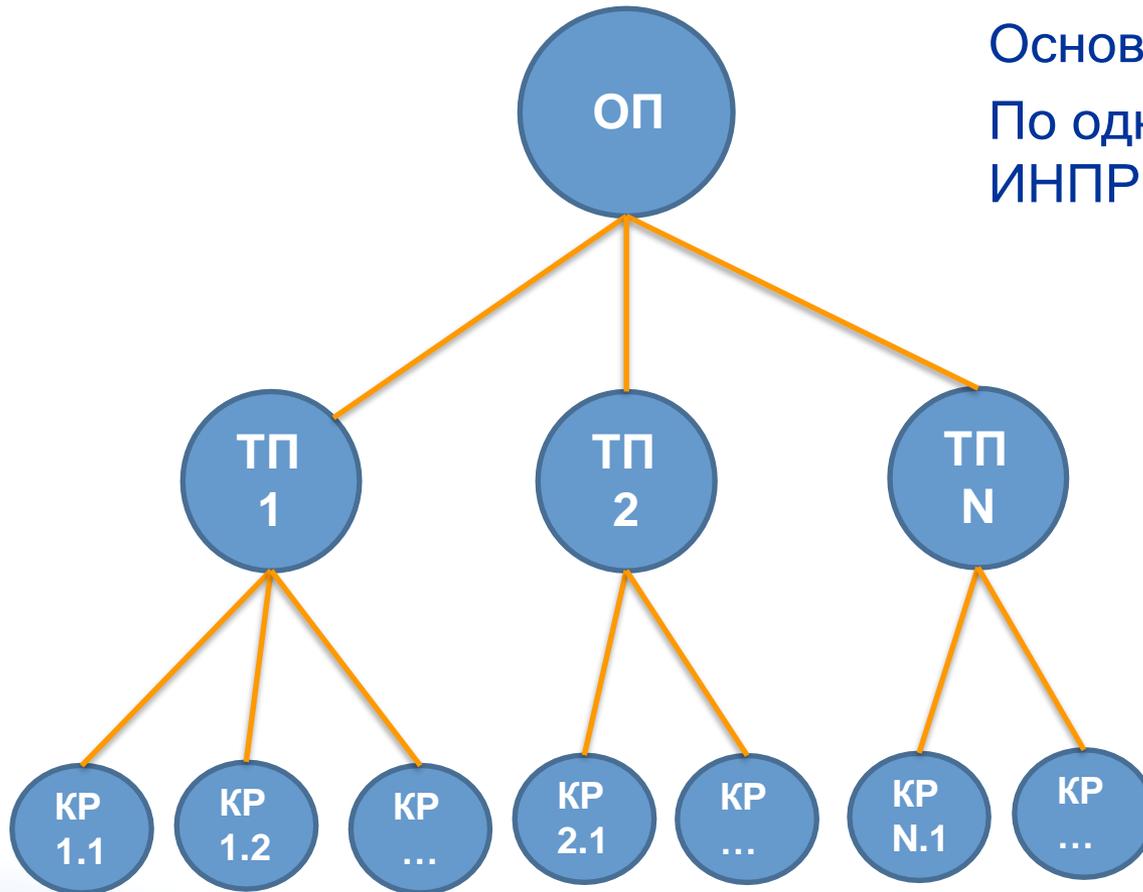


Цели развития устойчивой ядерной энергетической системы (ЯЭС)

Требования для достижения цели, определенной в основном принципе (ОП) для проектировщиков, операторов, промышленности и/или государства

Инструмент оценщика для проверки показателей для ЯЭС на соответствие требованиям пользователя (ТП)

Структура методологии ИНПРО



Основной принцип (ОП):
По одному на каждую область
ИНПРО – Всего 8 ОП

Требования
пользователя (ТП):
2-7 ТП на ОП

Критерий (КР):
1-6 КР на ТП



Как проводится оценка ЯЭС (NESA)

Критерии

выполнены:

- Да - устойчивый

- Нет

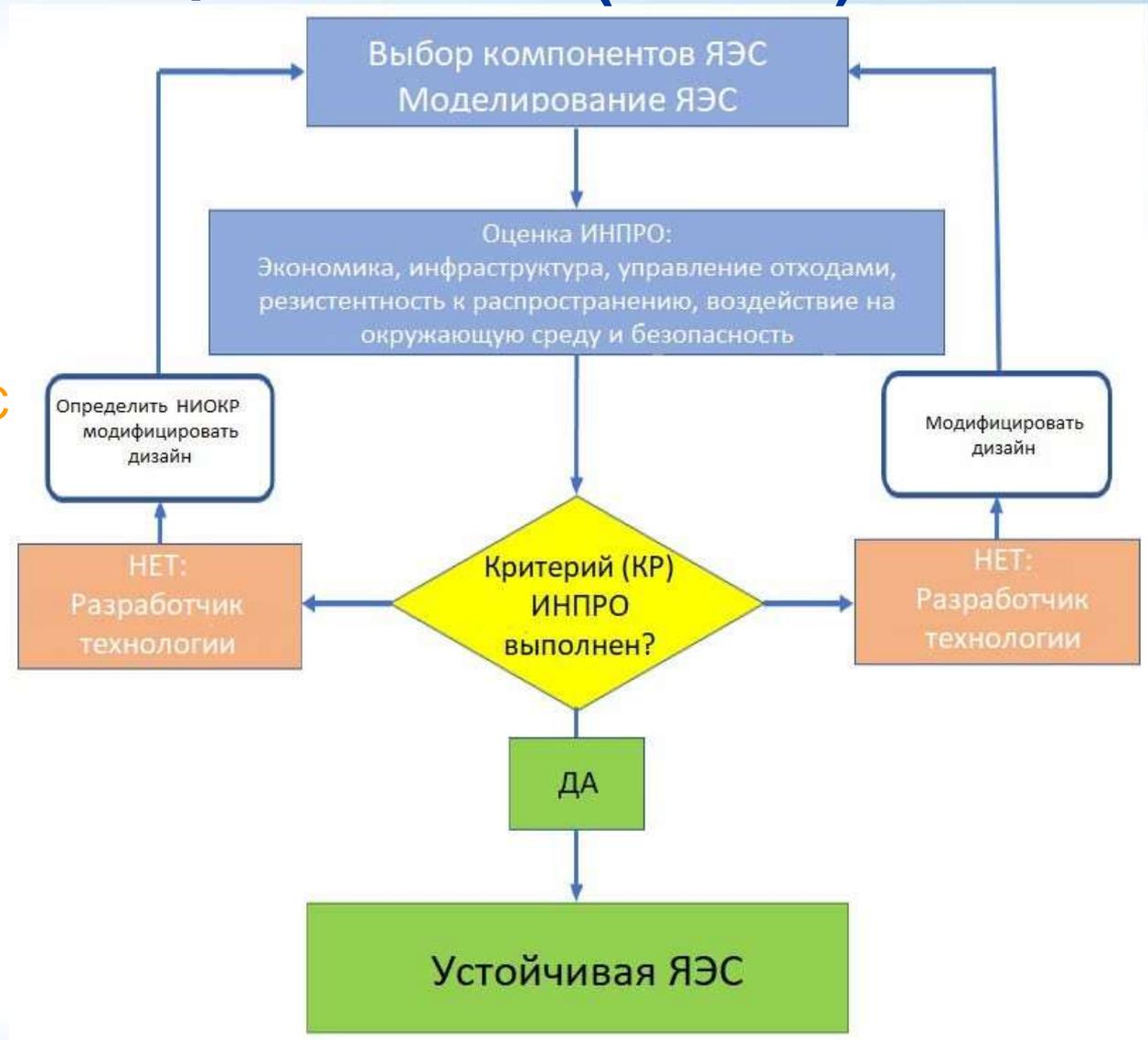
- Области для модификации ЯЭС (определяет недостатки и области улучшения)

- модифицировать ЯЭС /дизайн

- Выполнять НИОКР

- Переоценить

- Подтверждение устойчивости ЯЭС



Значение ОЯЭС (NESA)

Страна-новичок

- Ограничение области применения
- Использование дифференцированного подхода
- Повышение уверенности и осведомленности в долгосрочных вопросах
- Помощь в планировании и принятии решений

Государство / Правительствен ные учреждения

- Поддержка или развитие ЯЭС
- Сравнение вариантов
- Определение недостатков (областей требующих улучшения)
- Определение потенциальных синергетических эффектов между комбинациями ЯЭС

Национальная промышленность

- Сравнение вариантов
- Определение преимуществ
- Определение областей для исследований и разработок

Дизайнер / Разработчик технологий

- Управление развитием
- Сравнение вариантов
- Определений вариантов с преимуществами
- Определение области для исследований и разработок

Поддержка для выполнения ОЯЭС (NESA)



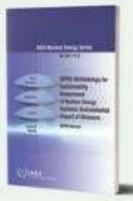
INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Economics
IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-4.4
(90 pp., 2014) • ISBN 978-92-0-102714-6 • STI/PUB/1653 • €40.00



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Infrastructure
IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.12
(68 pp., 2014) • ISBN 978-92-0-106214-7 • STI/PUB/1668 • €33.00



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Environmental Impact from Depletion of Resources
IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.13
(62 pp., 25 figs; 2015) • ISBN 978-92-0-103415-1 • STI/PUB/1700 • €33.00



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Environmental Impact of Stressors
IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.15
(94 pp., 5 figs; 2016) • ISBN 978-92-0-101616-4 • STI/PUB/1733 • €38.00



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Proliferation Resistance
IAEA-TECDOC-1575, Vol. 5
2008 – under revision



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Waste Management
IAEA-TECDOC-1901
(74 pp., 10 figs; 2020) • ISBN 978-92-0-102520-3 • IAEA-TECDOC-1901 • €18.00



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Safety of Nuclear Reactors
IAEA-TECDOC-1902
(110 pp., 5 figs; 2020) • ISBN 978-92-0-102720-7 • IAEA-TECDOC-1902 • €18.00



INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems: Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities
IAEA-TECDOC-1903
(168 pp., 8 figs; 2020) • ISBN 978-92-0-102920-1 • IAEA-TECDOC-1903 • €18.00



New IAEA e-learning course

Analysis Support for Enhanced Nuclear Energy Sustainability

<https://elearning.iaea.org>

Почему важны оценки ядерной энергетической системы (NESA)?



- Оценка систем ядерной энергетики (ЯЭС) на устойчивость
 - Жизненный цикл ЯЭС, более ста лет (для нескольких поколений)
 - Все опции ядерных топливных циклов

- Устойчивый:
 - Удовлетворять потребности настоящего, не нанося ущерба будущим поколениям в удовлетворении их потребностей
 - Устранение ограничений, налагаемых технологией и социальной системой на способность окружающей среды удовлетворять текущие и будущие потребности

- Области оценки
 1. Инфраструктура - законодательство и регулирование, не слишком обременительные
 2. Экономика — доступность и эффективность в течение всего жизненного цикла
 3. Безопасность - как можно безопаснее, чем нынешнее поколение установок
 4. Устойчивость к распространению - не способствует созданию материалов для ядерного оружия
 5. Окружающая среда — доступные ресурсы, меньшее воздействие на планету и человечество
 6. Обращение с отходами – направлена на долгосрочные постоянные и безопасные решения

Отдельные результаты ОЯЭС (NESA)



IAEA-TECDOC-1636

2009

Lessons Learned from Nuclear Energy System Assessments (NESA) Using the INPRO Methodology. A Report of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)

Уроки извлеченные из ОЯЭС с использованием методологии ИНПРО.



ОЯЭС проводили Беларусь, Армения, Казахстан, Индонезия и др. страны.

На начальном этапе выполнено шесть оценок на национальном уровне: Аргентина, Бразилия, Индия и Южная Корея как разработчики технологии; Армения и Украина как пользователи технологии.

IAEA TECDOC SERIES

TECDOC No. 1716

INPRO Assessment of the Planned Nuclear Energy System of Belarus

A report of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)

2013



IAEA TECDOC SERIES

IAEA-TECDOC-1778

Nuclear Power in Countries with Limited Electrical Grid Capacities: The Case of Armenia

A Report of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)

2015



Схема взаимосвязей средств ИНПРО в помощь «новичкам»

Роль АЭ

Стратегия АЭ

Практические шаги 1-го этапа

Исходная система энергетического планирования

Развитие системы энергетического планирования

Методология ИНПРО:

Осознание ответственности ОЯЭС в ограниченном объеме

ОЯЭС в полном объеме*

Эксплуатация АЭС

*После накопления значительного опыта эксплуатации АЭС

Время и прогресс в направлении развития ядерной энергетической программы

Обозначения

Рекомендуемые основные участники:

■ Эксперты, консультанты и правительство

■ Университеты и исследовательские организации

■ Органы принимающие решение – Правительство, операторы и Промышленность

Рубеж 1

Рубеж 2

Рубеж 3

Подготовка к принятию осознанного решения о строительстве АЭС

Подготовка тендера на строительство АЭС

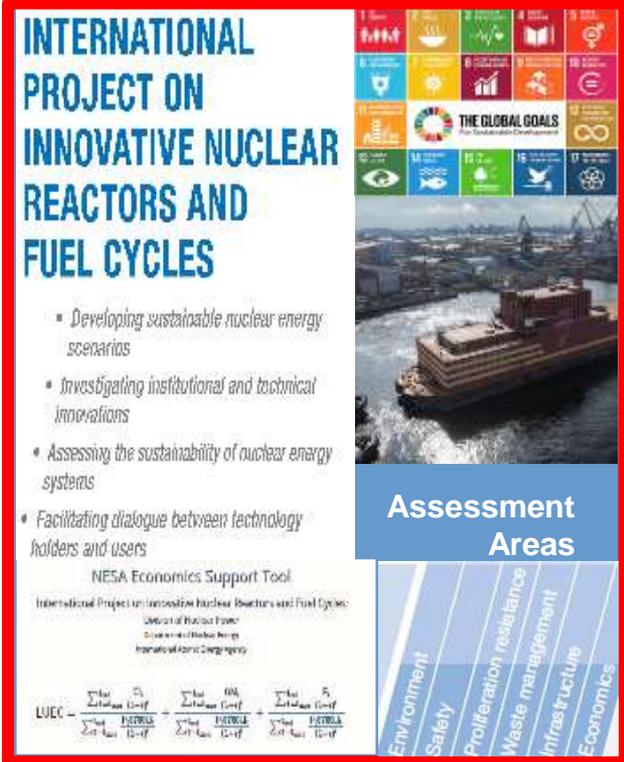
Строительство АЭС

Ключевые проекты и сервис для государств-членов МАГАТЭ

Александр Викторович Бычков
МАГАТЭ, ИНПРО

Роль ИНПРО

- ИНПРО - это деятельность, нацеленная на будущее
- ИНПРО продвигает **ИННОВАЦИИ** в таких областях, как:
 - Ядерные реакторы;
 - Ядерные топливные циклы: начальный и заключительный этапы;
 - Институциональные подходы к ядерной энергетике.
- ИНПРО помогает государствам-участникам в **национальном стратегическом и долгосрочном планировании**
- ИНПРО разрабатывает и предоставляет инструменты и услуги
- ИНПРО продвигает партнерство ради ядерного будущего



INTERNATIONAL PROJECT ON INNOVATIVE NUCLEAR REACTORS AND FUEL CYCLES

- Developing sustainable nuclear energy scenarios
- Investigating institutional and technical innovations
- Assessing the sustainability of nuclear energy systems
- Facilitating dialogue between technology holders and users

Assessment Areas

NESA Economics Support Tool
International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles
"World of Nuclear Energy"
Division of Nuclear Energy
International Atomic Energy Agency

$$LVEEC = \frac{\sum_{t=0}^{T-1} \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{T-1} \frac{E_t}{(1+r)^t}} - \frac{\sum_{t=0}^{T-1} \frac{O_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{T-1} \frac{E_t}{(1+r)^t}} + \frac{\sum_{t=0}^{T-1} \frac{S_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{T-1} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Environment
Safety
Proliferation resistance
Waste management
Infrastructure
Economics

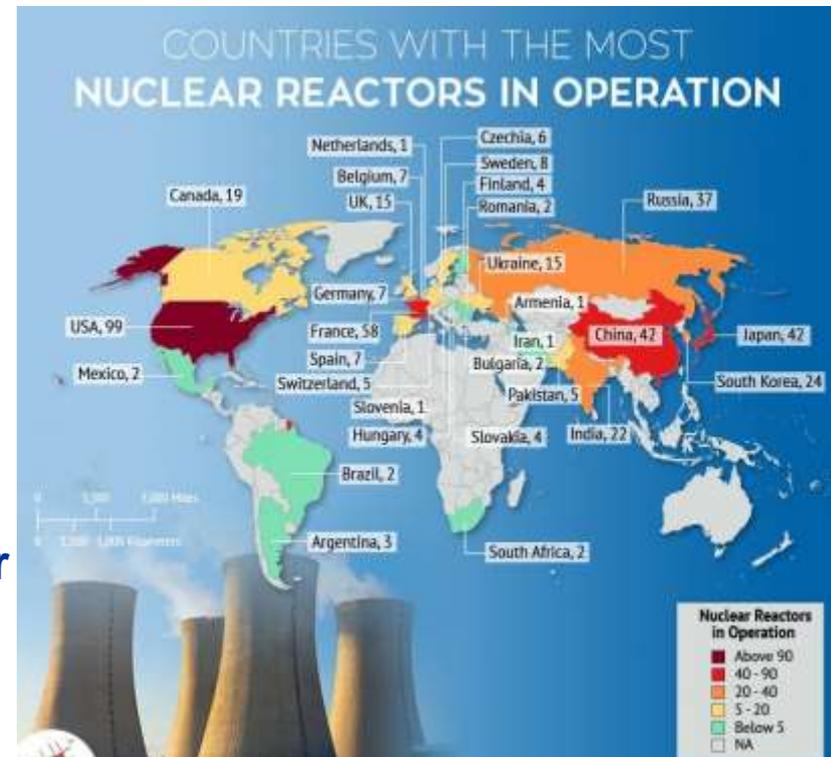
Эволюция развертывания ядерной энергетики



Задача ИНПРО: Глобальные сценарии

Основные направления

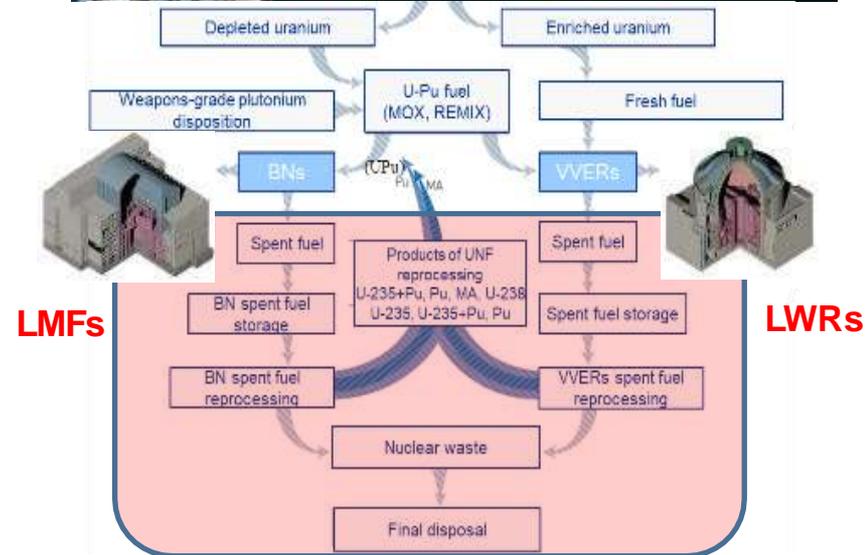
- Разработка глобальных и региональных сценариев использования ядерной энергии
- Использование разработанных инструментов научно-технического анализа
- Обеспечение глобального видения устойчивого развития ядерной энергетики в текущем столетии и в последующий период
- Налаживание новых инновационных партнерских отношений
- **Analysis Support for Enhanced Nuclear Energy Sustainability - ASENES – Key New Service**
Аналитическая Поддержка для Повышения Устойчивости Ядерной Энергетики



Задача ИНПРО: Инновации

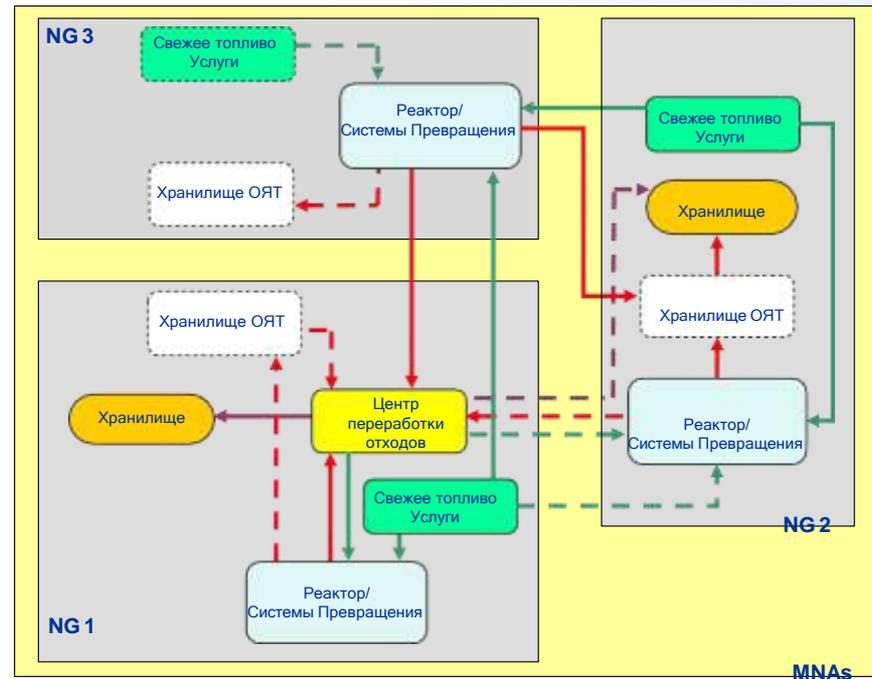
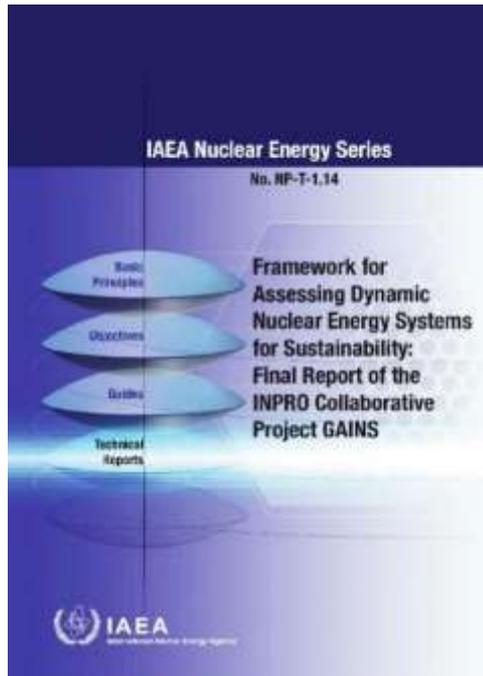
➤ Текущие исследования по техническим и институциональным инновациям в области ядерной энергетики:

- Текущие исследования технологических и институциональных инноваций для развития ядерной энергетики
- Обзор инновационных концепций реакторов для предотвращения тяжелых аварий и смягчения их последствий (RISC).
- WIRAF – Отходы, образующиеся в результате инновационных реакторов и топливных циклов.
- Совместные подходы к конечной стадии ядерного топливного цикла: движущие силы и институциональные, экономические и правовые ограничения.



Международная архитектура инновационной ядерной энергетики и ядерного топливного цикла

2013



- Проект GAINS – сценарии перехода к будущим системам ядерной энергетики
- Наиболее важным элементом является гетерогенная модель мировой ядерной энергетики с различными «политиками» в отношении начальной и конечной стадии ядерного топливного цикла

Стратегические исследования ИНПРО по усовершенствованной ядерной энергетической системе

2018

В рамках совместного проекта ИНПРО «Оценка синергетического взаимодействия региональных ядерно-энергетических групп с точки зрения устойчивости (SYNERGIES)» были систематизированы варианты повышения устойчивости ядерной энергетики.

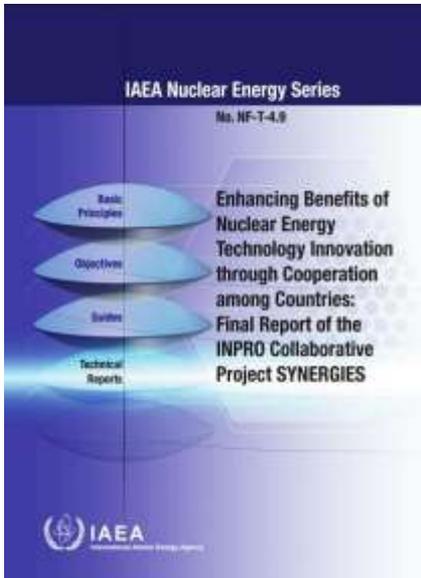
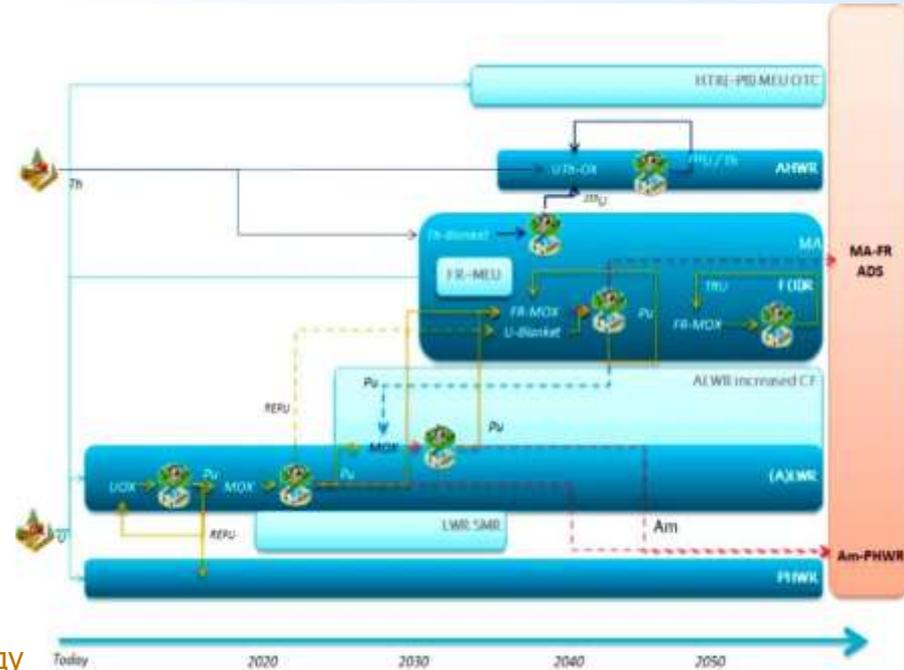
Повышение устойчивости может быть достигнуто за счет:

- Инноваций в технологиях и/или изменений в политике,
- Расширения сотрудничества между странами.

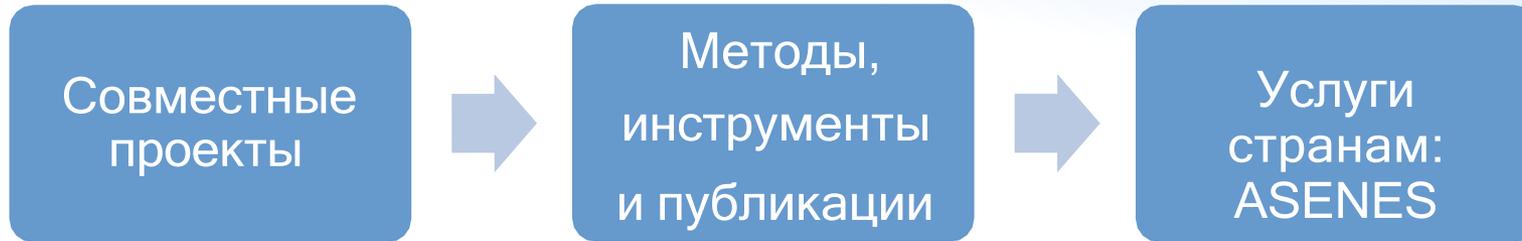
Варианты, связанные с технологиями, могут быть структурированы по типам ЯТЦ:

- Открытый ЯТЦ
- Рецикл с ограниченной физической обработкой
- Трансмутация МА или МА+FP
- Ограниченная переработка ОЯТ
- Полная переработка ОЯТ
- Окончательное геологическое захоронение всех отходов

Благодаря достижениям в реакторных технологиях, устойчивость ЯЭС может быть повышена в рамках каждого варианта ЯТЦ.



ASENES - «Аналитическая поддержка повышения устойчивости ядерной энергетики»: услуги ИНПРО для стран-участниц



GAINS - глобальная архитектура ИЯЭС на основе тепловых и быстрых реакторов, включая замкнутый ЯТЦ

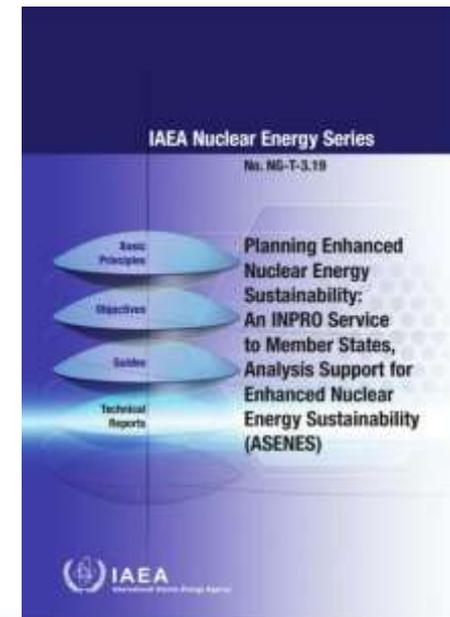
SYNERGIES - взаимодействие региональных ядерно-энергетических программ, оцененные с позиций устойчивости

KIND/CENESO - ключевые показатели для инновационных ядерно-энергетических систем
ROADMAPS - планы действий для перехода к глобально устойчивым ЯЭС

Результаты проекта включают **методы и программные средства**, которые в дальнейшем могут использоваться государствами-членами для аналогичных или альтернативных исследований.

ASENES – Аналитическая Поддержка Повышения Устойчивости Ядерной Энергетики

2021



Оценка инновационных тенденций в области ядерных реакторов и топливного цикла

(пример системной работы ИНПРО)

2000е

Оценка инновационных тенденций в области ядерных реакторов и топливного цикла:

- ОЯЭС для замкнутого ядерного топливного цикла с быстрыми реакторами
- Роль тория в качестве дополнения к топливным циклам будущих ЯЭС

2010е

Стратегические исследования и инструменты для рассмотрения международной архитектуры ядерной энергетики и синергии:

- GAINS,
- SYNERGIES,
- ROADMAPS,
- KIND
- MESSAGE и др.

2020е

ASENES как полномасштабный стратегический сервис по ядерной энергетике для государств-членов:

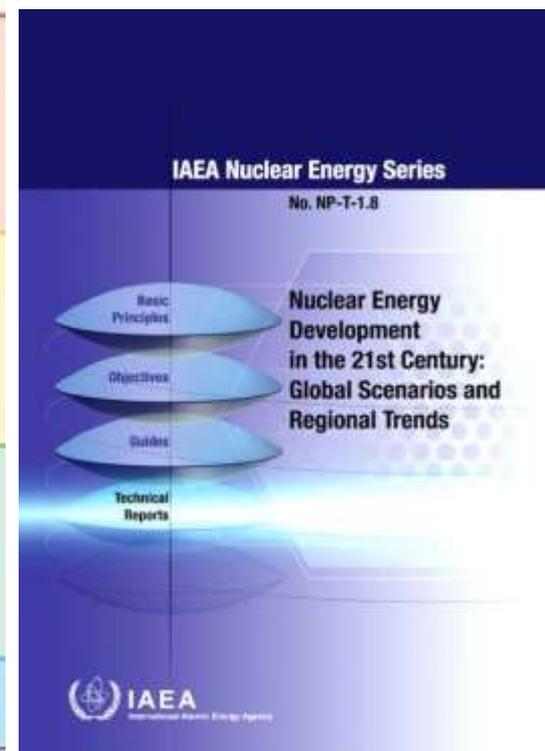
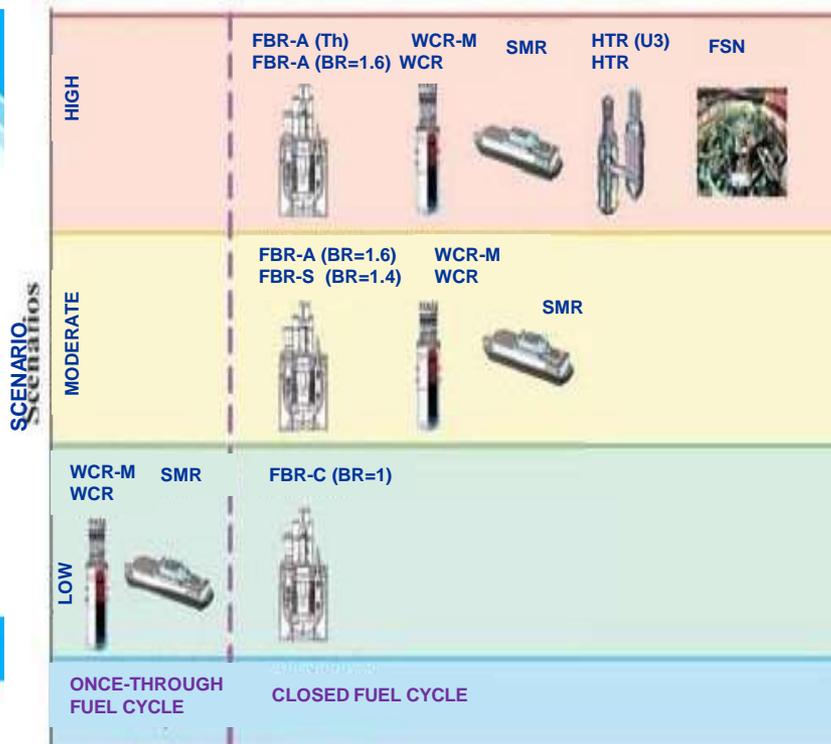
- Новый совместный проект: STEP FORWARD - ASENES для многокомпонентных систем с интегрированным топливным циклом

Общие обзоры ИНПРО по инновационным ядерным реакторам и технологиям топливного цикла в странах-участницах

Рассмотрение будущей ядерной энергетики

2009

2010



Оценка ЯЭС на основе ЗЯТЦ с БР - совместное исследование



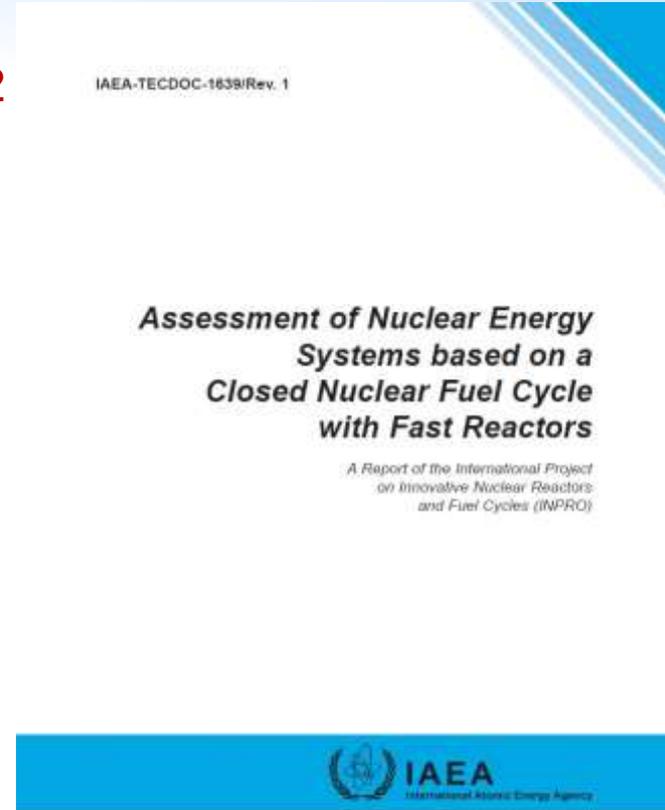
Совместное исследование было начато в 2005 г. и завершено в 2007 г. в рамках ИНПРО.

2012

В этом исследовании приняли участие Канада, Китай, Франция, Индия, Япония, Республика Корея, Российская Федерация и Украина.

Цели исследования состояли в оценке ядерной энергетической системы, основанной на замкнутом ядерном топливном цикле (ЗЯТЦ) с реакторами на быстрых нейтронах (БР), с позиций: **устойчивость ЯЭС, определение основных этапов развертывания такой ЯЭС и оценка направлений и рамок области совместных научно-исследовательских работ.**

Оценка была проведена в соответствии с требованиями методологии ИНПРО и руководящими документами совместного исследования, разработанными и одобренными участвующими сторонами.



STEP FORWARD: новое исследование ИНПРО

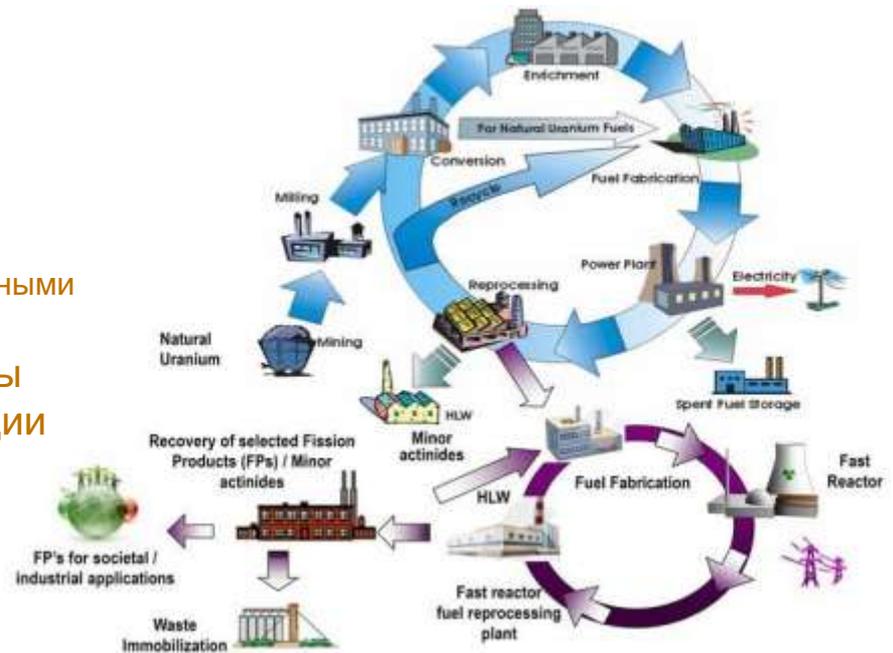
Общая цель: применение сервисного пакета ASENES и национальных инструментов по оценке ЯЭС к сценариям развития, включающим (на начальном этапе) небольшое количество инновационных ядерных энергетических установок, работающих для обеспечения многократного рецикла топлива в ядерной энергетической системе, базирующейся на действующих и эволюционных реакторах на тепловых нейтронах.

Области применения инновационных ядерных энергетических установок, подлежащих рассмотрению, открыта для включения различных вариантов, таких как:

- ✓ реакторы на быстрых нейтронах с любыми типами теплоносителя,
- ✓ реакторы на расплавленных солях,
- ✓ подкритические системы, управляемые ускорителем
- ✓ реакторы на тепловых нейтронах с модифицированным топливом, обеспечивающим многократный рецикл
- ✓ Гибридные системы с реакторами деления и термоядерными установками.

В рамках исследований рассматриваются вопросы трансмутации радиоактивных отходов и утилизации избыточного плутония.

Временные рамки исследования: 2022-2024



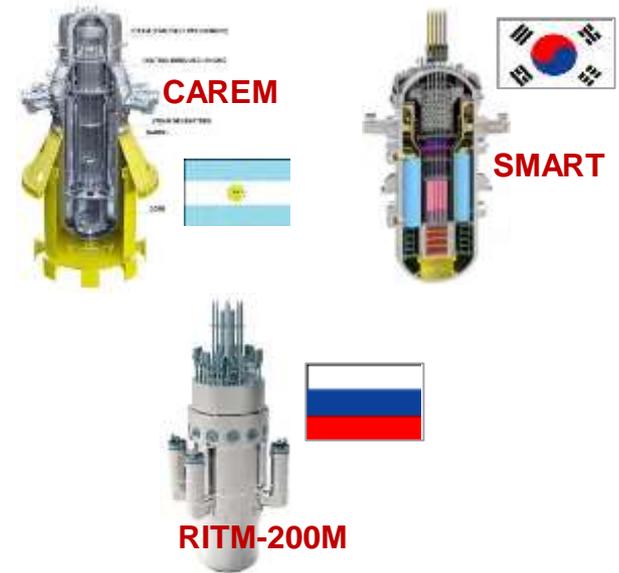
Текущие проекты ИНПРО по ММР

- **Актуальные исследования по развертыванию ММР-ов, с загрузкой ядерным топливом на заводе (транспортабельные АЭС)**
- **Оценки устойчивости ядерной энергетической системы (ОЯЭС) для ММР.** Пока инициированы три исследования: Аргентина (CAREM), Россия (РИТМ-200), Южная Корея (SMART)
- **17-й Диалог-форум ИНПРО по перспективам и вызовам в области малых модульных реакторов / 2-5 июля 2019 года, Ульсан, Республика Корея (143 участника из 22 стран-участниц)**
- **Совместный проект «Сценарии устойчивого развертывания малых модульных реакторов» (ASENES SMR)**

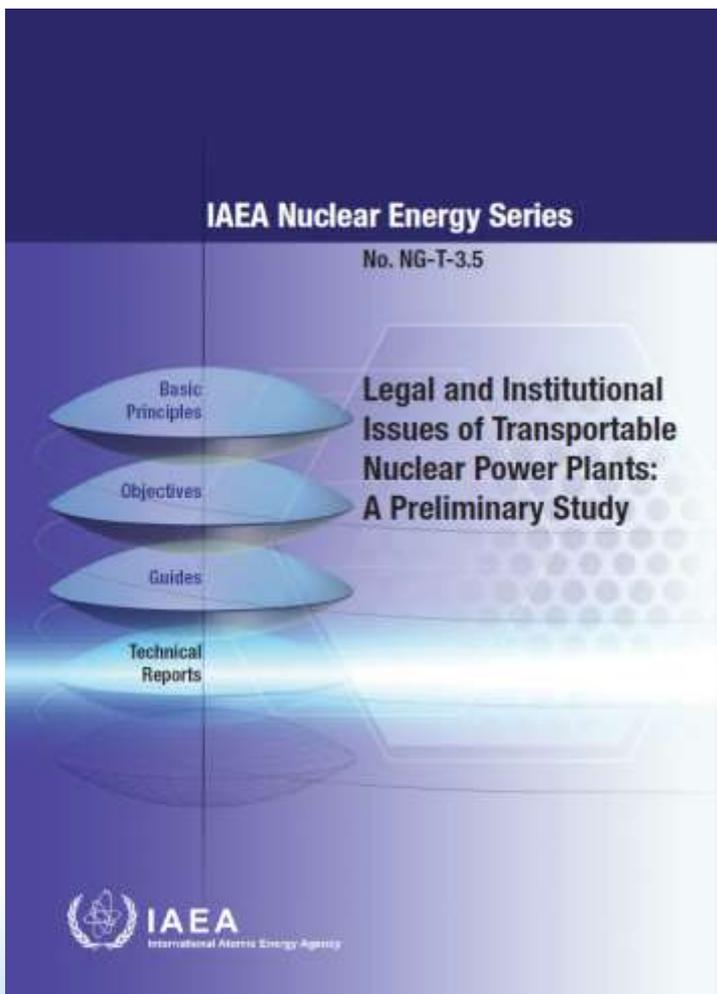
Цель:

- Обеспечить разработку и оценку перспективных сценариев и факторов успеха развертывания устойчивых ЯЭС с ММР, включая перспективные модели сотрудничества.

SMR NESA



Институциональные инновации



- (TNPP) Правовые и институциональные вопросы транспортабельных АЭС: Предварительное исследование (издано в 2013 г.)
Готовиться к публикации вторая фаза проекта TNPP-2
- Совместные подходы к конечной стадии ядерного топливного цикла: движущие силы и институциональные, экономические и правовые ограничения.
(готовиться к публикации в 2023 г.)
- Новое исследование ИНПРО: правовые и институциональные вопросы перспективного развертывания термоядерных установок (открыто в 2022 г.)

Институциональные инновации: взгляд и влияние на развитие ядерной энергетики

- Методология ИНПРО



- Инфраструктура (для первой АЭС)

“Светлое будущее”:
Безопаснее, чем
предыдущий; лучше, чем
предыдущий;
экономически
приемлемый;
экологически чистый

- Пересмотр ролей поставщиков и принимающих государств/новичков и их ответственности

Новые подходы к
сотрудничеству

- Правовые/институциональные инновации (аспекты)

Рамки сотрудничества и
их видение на период
далее 50 лет

Выводы:

Методология ИНПРО и инструменты ИНПРО являются действительными инструментами для:

- **Стратегического планирования систем ядерной энергетики для государств-участников при усилении международного и регионального сотрудничества**
- **Системного продвижение ядерных инноваций и понимания их роли в устойчивом развитии человечества**



IAEA

International Atomic Energy Agency

Спасибо за внимание



*Александр Викторович БЫЧКОВ
Старший эксперт, ИНПРО МАГАТЭ*

*Вебинар «Как МАГАТЭ
помогает обеспечить
устойчивость ядерной
энергетики»
8 декабря 2022*

A stylized sun graphic consisting of a large yellow circle with several smaller yellow dashes radiating from it, set against an orange background.

Формирование компетенций для стратегического планирования устойчивого развития ядерной энергетики

Андрей Н. Косилов

Андрей Н. Косилов

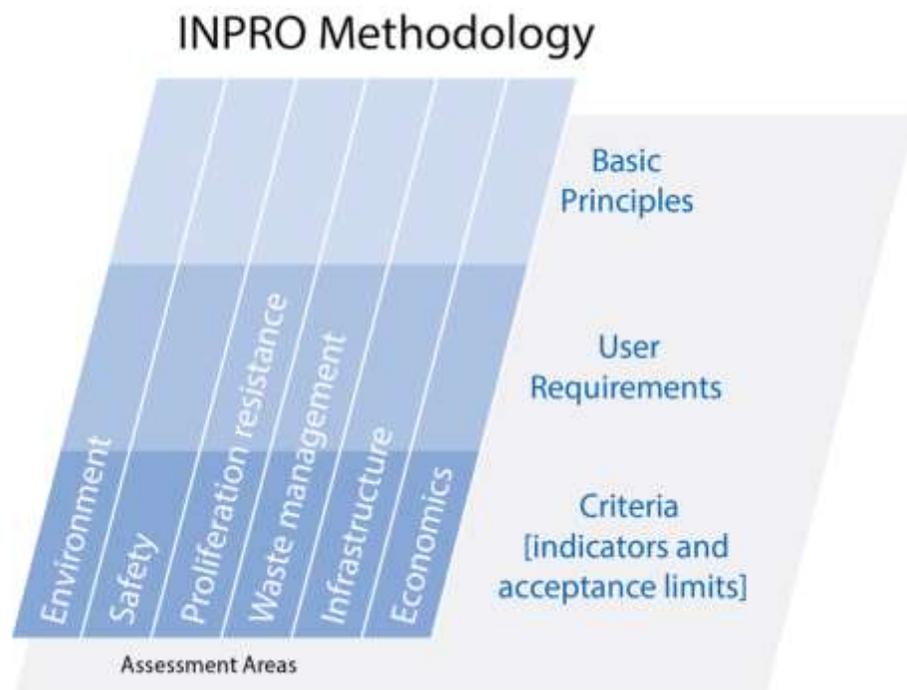
*Исполнительный директор Региональной сети Образование и подготовка специалистов в области ядерных технологий - STAR-NET
Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Россия*



- Инженер-физик, к.т.н. в ядерных технологиях, профессор
- Области профессионального интереса: ядерные технологии и ядерная энергетика, образование и профессиональная подготовка, управление знаниями, исследования и разработки в области ядерных технологий, международное сотрудничество

Обоснование
типового учебного
курса по
стратегическому
планированию
устойчивого
развития ядерной
энергетики

- Генеральная конференция МАГАТЭ [GC(65)11] поручила Секретариату оказать государствам-членам помощь в их усилиях по обеспечению устойчивости ядерного образования и профессиональной подготовки во всех областях мирного использования ядерной энергии.
- В этой связи МАГАТЭ/INPRO предприняло усилия по разработке типового учебного курса по стратегическому планированию устойчивого развития ядерной энергетики и внедрению необходимых образовательных программ на университетском уровне.



Образовательный курс, основанный на методологии INPRO и инструментах оценки в различных областях, **будет способствовать развитию целостного подхода** у студентов к применению инновационных ядерных технологий и их взаимосвязи с энергетической системой в целом и ядерной энергетической системой в частности.

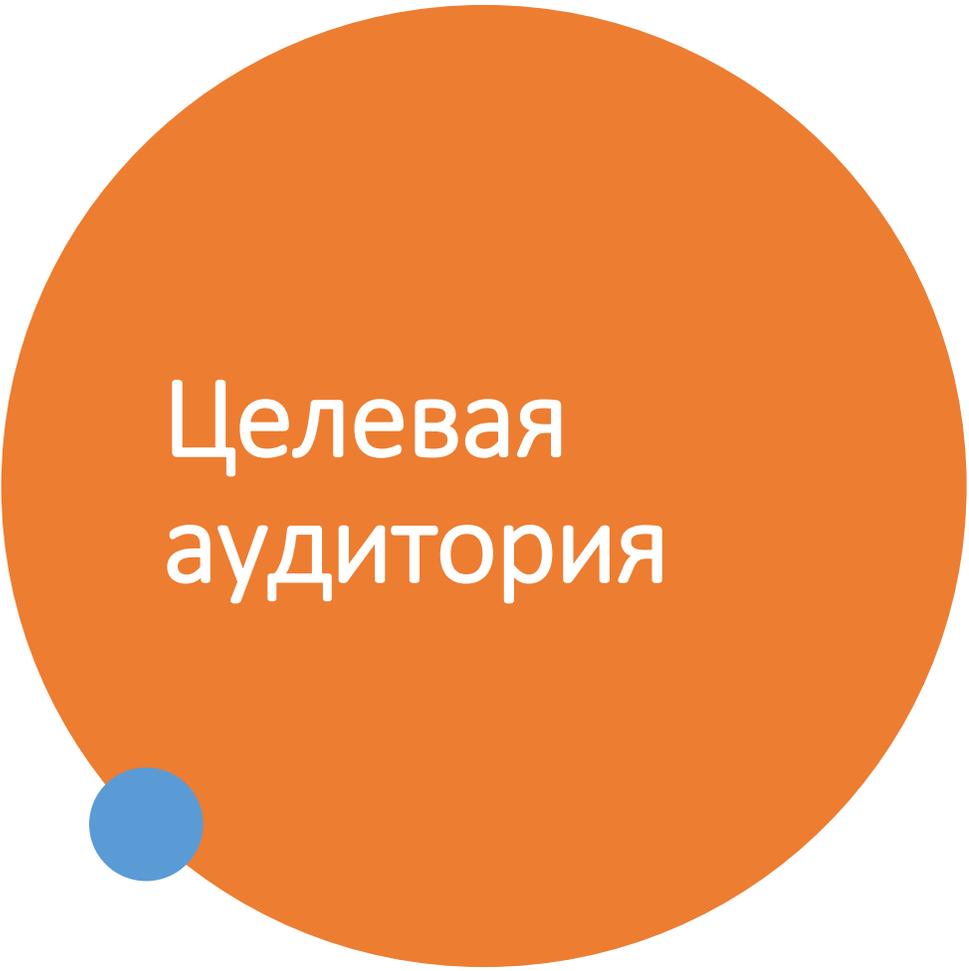
Цель курса

- ❖ Учебный курс и связанные с ним образовательные модули поддерживают наращивание потенциала и развитие национальных людских ресурсов в секторе ядерной энергетики.

Конкретными целями курса являются:

- **Формирование компетенций** по планированию и моделированию сценариев развития ЯЭС и по использованию методологии INPRO для проведения оценки устойчивости ЯЭС;
- **Ознакомление студентов с концепцией NPRO устойчивого развития ЯЭС в различных областях**, таких как: экономика, инфраструктура, управление отходами, окружающая среда, устойчивость к распространению, безопасность реакторов и топливного цикла, а также с положениями о дальнейшем развитии и улучшении устойчивости, с помощью которых можно было бы оценить и количественно оценить существенные улучшения устойчивости в конкретных областях оценки;
- **Развитие понимания вопросов устойчивости** при планировании и способность выполнять анализ ЯЭС и оценку выбранных областей с использованием критериев методологии INPRO.





Целевая аудитория

- Студенты магистратуры по ядерным наукам, ядерным технологиям и ядерной инженерии
- Курс также полезен для студентов, изучающих международные отношения, политологию и менеджмент, а также в качестве основы для обучения стратегическому планированию ядерной энергетики и оценке устойчивости (в рамках программы непрерывного образования) для менеджеров и технических специалистов, работающих в атомной отрасли.

ОБЛАСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Группа 1 - Энергетическое планирование и стратегии устойчивого развития

Группа 2 - Планирование устойчивости ядерной энергетики

Группа 3 - Инновации в секторе ядерной энергетики для решения задач устойчивого энергетического развития

Группа n 4 Моделирование ядерно-энергетической системы

Группа 5 - Методология оценки устойчивости систем ядерной энергетики (методология INPRO)

Структура курса

Часть 1. Основные модули

Часть 2. Расширенные модули / модули углублённого изучения

Часть 3. Исследовательские проекты



Основные модули

Модуль 1
Энергетическое
планирование и
стратегии
устойчивого
развития

Модуль 2
Планирование
устойчивого
развития ядерной
энергетики

Модуль 3
Инновации в секторе
ядерной энергетики в
решении задач
устойчивого
энергетического
развития

Расширенные модули

Модуль 4
Введение в
методологию INPRO
для оценки
устойчивости
систем ядерной
энергетики

Модуль 5
Методы и
инструменты
планирования
устойчивого
энергетического
развития

Модуль 6
Методы и
инструменты для
моделирования и
анализа систем
ядерной
энергетики

Исследовательские проекты

Модуль 7
Исследовательские
проекты по
планированию и оценке
энергетических и ядерно-
энергетических систем

Описание образовательных модулей

- ❖ Краткое описание
- ❖ **Цели обучения**
- ❖ Предварительные условия для обучения по конкретному модулю/входные компетенции
- ❖ **Ожидаемые результаты обучения/компетенции**
- ❖ Темы модуля и их описание
- ❖ Предлагаемые методы преподавания и оценка эффективности работы/успеваемости учащихся
- ❖ Библиография

Модуль 1. Энергетическое планирование и стратегии устойчивого развития – Основные темы



Модуль 1. Энергетическое планирование и стратегии устойчивого развития – Цели обучения и входные компетенции

Обеспечить понимание технических, экономических, экологических, социальных и геополитических аспектов при разработке стратегий устойчивой энергетики для страны или региона.

Ознакомить студентов с оценкой потенциальной роли различных энергетических ресурсов и технологий в удовлетворении будущих энергетических потребностей для устойчивого развития.



Входные компетенции



Ожидается, что студенты будут обладать базовыми знаниями в области математики, физики и энергетических технологий. Инженерное образование является преимуществом, но не является обязательным.

**Модуль 1.
Энергетическое
планирование и
стратегии устойчивого
развития**

**Ожидаемые результаты
обучения/сформированные
компетенции**

No	Ожидаемые результаты обучения – студенты должны:
1	Объяснить основные аспекты, которые необходимо учитывать при оценке выбора энергии для национальных энергетических стратегий и планов устойчивого развития.
2	Продемонстрировать знакомство с энергетическими ресурсами, энергетическими технологиями и их техническими, экономическими и экологическими характеристиками.
3	Продемонстрировать понимание энергетической экономики и методологии экономического сравнения различных вариантов использования энергии.
4	Проиллюстрировать осведомленность о геополитических соображениях энергетической безопасности и международной торговле энергоносителями.
5	Продемонстрировать знакомство с методами и инструментами, доступными для проведения оценки различных энергетических технологий с точки зрения их технических, экономических и экологических характеристик, а также для разработки стратегий устойчивой энергетики.

Модуль 6. Методы и инструменты для моделирования и анализа систем ядерной энергетики – Основные темы



Модуль 6. Методы и инструменты для моделирования и анализа систем ядерной энергетики – Цели обучения

- Ознакомить студентов с подходами к моделированию и анализу ЯЭС, разработанными INPRO.
- Объяснить основы анализа массового расхода и принятия многокритериальных решений для агрегирования суждений.
- Ознакомить студентов с подходом INPRO для сравнительной оценки вариантов и сценариев использования ядерной энергии.

- Представить подход INPRO к составлению дорожной карты ЯЭС;
- Представить инструменты INPRO для анализа сценариев ЯЭС, сравнительной оценки вариантов ЯЭС и экономического анализа ЯЭС.

Модуль 6
Методы и инструменты для моделирования и анализа систем ядерной энергетики

Ожидаемые результаты обучения/сформированные компетенции

Студенты должны:

1	Описывать подходы ИНПРО к моделированию и анализу ЯЭС.
2	Используя учебные материалы модуля, описывать основу для моделирования и анализа сценариев ЯЭС и её основные элементы.
3	Выполнять упражнения по динамическому моделированию ЯЭС с использованием симуляторов ЯЭС и экономическому анализу на уровне АЭС с помощью инструмента NEST.
4	Продемонстрировать знакомство с MESSAGE-NES для моделирования сценариев ядерной энергетики.
5	Проиллюстрировать знакомство с планами развития ядерной энергетики с помощью ROADMAPS-ET.
6	Продемонстрировать знание подходов и инструментов для сравнительной оценки ЯЭС с учетом различных ключевых факторов и методов многокритериального анализа для выбора предпочтительной ЯЭС.
7	Выполнять упражнения по сравнительной оценке ЯЭС с использованием инструмента МАГАТЭ KIND-ET и его расширенной версии.
8	На основе применения инструментов и подходов ИНПРО к конкретным исследованиям формулировать основные проблемы устойчивого развития и развертывания ядерной энергетики, роль инноваций и международного сотрудничества в долгосрочной устойчивости ядерной энергетики и стратегического планирования развертывания ЯЭС.

Реализация курса

- ❖ **Предлагаемые образовательные модули служат основой для различных магистерских курсов.**
- ❖ **Поддержка со стороны МАГАТЭ:**
 - **Инструменты МАГАТЭ для энергетического анализа и планирования**
 - **Обучение методам, моделям и программным средствам МАГАТЭ в предметной области**
 - **Предоставление учебных материалов образовательным организациям для разработки, использования, настройки или адаптации учебных материалов с использованием типового учебного курса.**
 - **Разработка образовательных курсов с использованием типового учебного плана, а также разработка или адаптация учебных материалов.**
 - **Пилотирование отдельных частей образовательных курсов, в которых используются модули типового учебного курса**
 - **Внедрение образовательных курсов с типовым учебным планом (например, путем привлечения экспертов в профильных областях)**
 - **Организация стажировок в МАГАТЭ для практического изучения предметов, связанных с типовым учебным курсом**
 - **Реализация научных визитов и практик**
 - **Предоставление доступа к ресурсам ИНПРО на обучающей платформе МАГАТЭ (CLP4NET)**
 - **Предоставление соответствующих публикаций МАГАТЭ (либо путем загрузки на веб-сайте www.iaea.org/publications, либо посредством запроса в МАГАТЭ).**

Документ МАГАТЭ:
Типовой учебный курс по
стратегическому
планированию устойчивого
развития ядерной энергетики

CONTENTS

1.	INTRODUCTION.....	1
1.1.	BACKGROUND	1
1.2.	OBJECTIVES.....	2
1.3.	SCOPE.....	2
1.4.	TARGET USERS	3
1.5.	STRUCTURE.....	3
2.	PURPOSE OF AND PREREQUISITS FOR THE COURSE	4
2.1.	PURPOSE OF THE COURSE AND GENERAL EXPECTATIONS	4
2.2.	INTENDED AUDIENCE OF THE COURSE	5
2.3.	PREREQUISITES FOR THE COURSE.....	5
3.	DESCRIPTION OF THE MODEL CURRICULUM.....	6
3.1.	METHODOLOGY EMPLOYED FOR DEVELOPING THE CURRICULUM	6
3.2.	COMPETENCY AREAS	8
3.3.	CURRICULUM.....	9
3.3.1.	Core modules	10
3.3.2.	Advanced modules.....	12
3.3.3.	Research project module.....	14
4.	IAEA SUPPORT FOR THE MODEL CURRICULUM IMPLEMENTATION	15
4.1.	OVERALL SCOPE OF IAEA POTENTIAL SUPPORT	15
4.2.	ANALYTICAL TOOLS TO SUPPORT ENERGY ANALYSIS AND PLANNING.....	15
4.3.	ANALYTICAL TOOLS TO SUPPORT NUCLEAR ENERGY MODELLING AND ANALYSIS	16
4.4.	HOW TO OBTAIN THE IAEA TOOLS	16
4.5.	TRAINING ON THE IAEA TOOLS	16
4.6.	THE CYBER LEARNING PLATFORM FOR NETWORK EDUCATION AND TRAINING	17
	APPENDIX I. DESCRIPTION OF THE EDUCATIONAL MODULES	19
	APPENDIX II. DESCRIPTION OF THE IAEA TOOLS	51
	REFERENCES	56
	ANNEX I. INPRO AND UN SUSTAINABILITY CONCEPT	59
	GLOSSARY	60
	ABBREVIATIONS	65
	CONTRIBUTORS TO DRAFTING AND REVIEW	68



**Спасибо за
внимание!**



Черняховская Юлия Валентиновна, к.э.н.

Заместитель генерального директора по ядерной инфраструктуре
АО «Русатом Сервис», Госкорпорация «Росатом»

Доцент кафедры экономики и менеджмента в промышленности (71)

Факультет бизнес-информатики и управления комплексными системами НИЯУ МИФИ

С 2003 г. работа по международным проектам атомной энергетики и ЯТЦ в АО «Ижорские заводы», АО «Атомстройэкспорт», Госкорпорации «Росатом» (Департаменте международного бизнеса), АО «Русатом Сервис» (отраслевой центр ответственности за услуги в области ядерной инфраструктуры, секретарь управляющего совета ГК «Росатом» – Ростехнадзор, разработчик Программы по развитию национальных ядерных инфраструктур государств – участников СНГ и Плана мероприятий по ее реализации, утвержденных Экономическим советом СНГ 2 декабря 2022 года). Представитель ГК «Росатом» в Технической рабочей группе по инфраструктуре ядерной энергетики МАГАТЭ, а также член рабочей группы № 1 «Терминология в области использования атомной энергии» Технического комитета по стандартизации ТК 322 «Атомная техника».

Больше деталей здесь: <https://www.researchgate.net/profile/Yulia-Chernyakhovskaya>



ВЕХОВЫЙ ПОДХОД 4.0 В РАМКАХ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА (ЗЯТЦ)

1. Новые технологии (ЗЯТЦ) требуют адаптации концепции ядерной инфраструктуры (ЯИ) для **достижения ЦУР**.
2. **Разработка политики и стратегии ЗЯТЦ** должна быть основана на прогнозировании и моделях (инструменты INPRO!), технико-экономическом обосновании, включая определение доступных технологий и необходимой ЯИ (финансовые ресурсы, правовые и нормативные требования, развитие людских ресурсов, общественная приемлемость).
3. **Требуется комплексное понимание инфраструктуры, необходимой для ЗЯТЦ**. Целевая модель ЯИ должна быть разработана с учетом практических параметров референтных опорных технологий ЗЯТЦ. **Модель реализации ЗЯТЦ** может привести к сокращению масштабов ЯИ по времени и/или ресурсам для стран-новичков.
4. Продвижение концепции ЯИ для ЗЯТЦ должно проводиться на базе **механизма мягкой координации** между регулирующим органом и вендором технологий.
5. ШАГ ВПЕРЕД ИНПРО планирует реализацию следующих проектов:
 - 1) Критерии **минимальной инфраструктуры** и описание **концепции ЯИ** для стран-участниц международного ЯТЦ
 - 2) **Тематические исследования** национальных стратегий ЯТЦ и **региональных сценариев** для оценки устойчивости (с использованием инструментов ASENES и вехового подхода)



РУСАТОМ СЕРВИС
РОСАТОМ

ЯДЕРНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА
И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

4.0



Как МАГАТЭ помогает обеспечить устойчивость ядерной энергетики



- ИНПРО содействует обеспечению устойчивости ядерной энергетики для удовлетворения растущих энергетических потребностей в текущем столетии и в последующий период
- ИНПРО ориентирована на будущее и помогает государствам-участникам в стратегическом планировании устойчивой ядерной энергетики, используя комплексный подход, который включает применение методологии и инструментов ИНПРО
- ИНПРО исследует и продвигает инновационные ядерные технологии и институциональные механизмы, которые поддерживают развитие устойчивой ядерной энергетики
- ИНПРО предоставляет обладателям и пользователям технологий возможность обмена мнениями и информацией о долгосрочных ядерно-энергетических стратегиях, глобальных ядерно-энергетических сценариях и технических и институциональных инновациях в этой области

Вопросы к докладчикам



*Владимир Васильевич
Артисюк
РОСАТОМ*



*Александр Викторович
Бычков
МАГАТЭ, ИНПРО*



*Михаил Владимирович
Хорошев
МАГАТЭ, ИНПРО*



*Андрей Николаевич
Косилов
STAR-NET*



*Юлия Валентиновна
Черняховская
Русатом Сервис*



*Максим Евгеньевич
Гладышев
МАГАТЭ, ИНПРО*

Вебсайт ИНПРО: www.iaea.org/inpro/

Платформа для совместной работы ИНПРО: nucleus.iaea.org/sites/inpro/