

ПОДХОДЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОЙ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ INPRO

А.А. Афанасьев, Н.И. Власенко

ОП «Научно-технический центр» НАЭК «Энергоатом», г. Киев, Украина;

Министерство топлива и энергетики Украины, г. Киев, Украина;

e-mail: a.afanasyev@ntc.gov.ua

Представлены подходы при выполнении предварительной и сравнительной оценок по Методологии INPRO (IAEA TECDOC-1434) инновационных ядерных энергетических систем (ИЯЭС) Украины с эволюционными проектами ядерных энергетических установок, предлагаемых для внедрения в период до 2030 г., которые должны соответствовать всеобъемлющей цели устойчивого развития, способствовать укреплению принципов устойчивости в части защищенности от распространения и решению энергетических проблем на национальном и региональном уровнях. Использование результатов оценок ИЯЭС с эволюционными проектами ядерных энергетических установок позволит сформировать информационные, методологические и научно-технические основы выбора инновационного проекта ЯЭС и соответствующего ЯТЦ, которые могут быть предложены для использования в Украине после 2030 года.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое энергоснабжение для человечества в XXI веке потребует крупномасштабного развертывания атомной энергии, так же как и других источников энергии.

15 марта 2006 г. Правительство (Кабинет Министров) Украины утвердило стратегию развития энергетики Украины до 2030 г.

Согласно стратегии планируется сохранить достигнутую долю (около половины) производства электроэнергии на АЭС в период до 2030 г. Для производства в 2030 г. на АЭС 219,0 млрд. кВт.ч электроэнергии необходимо иметь 29,5 ГВт установленной мощности с КИУМ - 85%. Такое решение обосновывается в первую очередь наличием собственных ресурсов урана, стабильной (устойчивой) работой АЭС, потенциальными возможностями страны по созданию мощностей АЭС, а также имеющимся техническими, финансовыми и экологическими проблемами при обеспечении эксплуатации тепловой энергетики.

Международный проект по инновационным реакторам и топливным циклам (INPRO) инициирован МАГАТЭ в 2000 г. на основе резолюции Генеральной конференции.

Главные цели проекта INPRO:

- помочь удостовериться в том, что ядерная энергетика в XXI веке окажется способной внести достойный вклад в удовлетворение энергетических потребностей устойчивого развития человечества;
- объединить обладателей и пользователей технологий для совместной выработки международных и внутригосударственных действий, направленных на достижение желаемых инноваций в области ядерных реакторов и топливных циклов.

Устойчивое развитие определено как развитие, которое способно удовлетворить потребности насто-

ящего поколения, не ставя под угрозу право будущих поколений на удовлетворение их собственных потребностей.

МЕТОДОЛОГИЯ INPRO

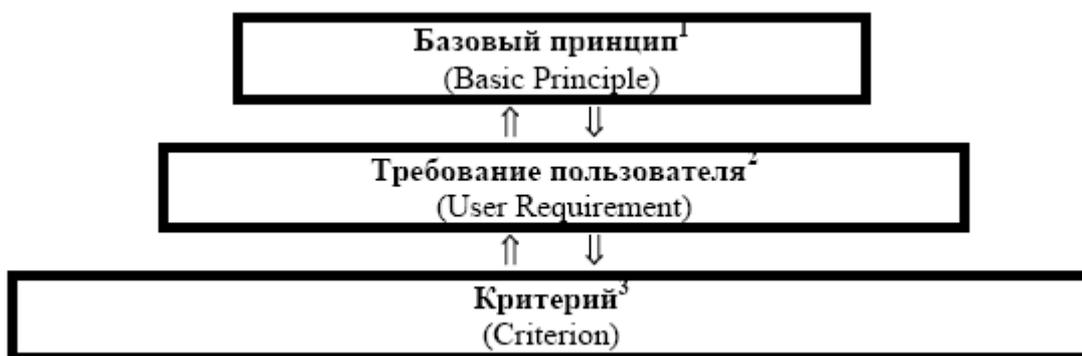
По определению INPRO к инновационным ядерным энергосистемам (ИЯЭС) относятся системы, которые будут способствовать превращению ядерной энергетики в один из основных источников мирового производства энергии в 21-м столетии. В этом контексте будущие системы могут включать как эволюционные проекты ядерных энергетических установок, так и проекты, реализующие инновационные концепции.

В проекте INPRO определен набор Базовых принципов, Требований пользователя и Критериев (состоящих из Индикатора и Предела приемлемости) для всех тематических областей, по которым производится оценка ИЯЭС (экономика, окружающая среда, безопасность, инфраструктура, обращение с отходами и устойчивость к распространению). Высшим уровнем в структуре INPRO является Базовый принцип (БП), который является формулировкой общего правила, предоставляющего широкое руководство для разработки инновационной конструкции ядерной энергетической системы (либо ее части). Базовые принципы должны учитываться во всех тематических областях, рассматриваемых в рамках INPRO. Требования пользователя (ТП) являются условиями, которые должны быть выполнены для того, чтобы данная инновационная ядерная энергетическая система стала приемлемой для пользователя. Понятие пользователя в INPRO охватывает широкий диапазон групп, включая инвесторов, проектировщиков, эксплуатирующие организации, надзорные органы, местные организации и власти, правительство, неправительственные организации, средства массовой информации и конечных пользователей энергии (население, промышленность и

т.д.). Устанавливая Требования пользователя, INPRO стремится к тому, чтобы оценка INPRO смогла учесть точки зрения и баланс интересов всех заинтересованных сторон. Критерии (один или несколько) требуются для того, чтобы определить, каким образом и насколько хорошо удовлетворено данное Требование пользователя. В состав Критерия входит Индикатор и Предел приемлемости. Индикаторы могут определяться через единственный пара-

метр, в виде некоторого выражения с несколькими параметрами или по констатации состояния.

БП, ТП и Критерии сформулированы на широкой основе. Они представляют собой идеализацию желаемого с учётом национальных, региональных и глобальных тенденций, а также возможных технологических достижений. Исключительно трудно предсказать шаг за шагом будущее развитие технологий, поэтому в INPRO экстраполируются существующие тенденции.



Украина вошла в состав участников проекта INPRO в 2005 году и на 8-м Заседании руководящего комитета (РК) (декабрь 2005 г.) предложила выполнить оценку национальной ИЯЭС с использованием Методологии INPRO.

ЦЕЛИ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Выполнение предварительной и сравнительной оценок по Методологии INPRO ИЯЭС Украины с эволюционными проектами ядерных энергетических установок, предлагаемых для внедрения в период до 2030 г.

2. Использование результатов оценок ИЯЭС с эволюционными проектами ядерных энергетических установок для формирования в рамках последующей деятельности информационной, методологиче-

ской и научно-технической основы выбора инновационного проекта ЯЭС и соответствующего ЯТЦ, которые могут быть предложены для использования в Украине после 2030 года. Выполнение предварительной и сравнительной оценок ИЯЭС Украины на основе инновационных проектов, которые могут быть внедрены после 2030 г.

Для национального исследования в рамках INPRO в период до 2030 г. принимается ИЯЭС, включающая АЭС с эволюционными РУ типа ВВЭР (PWR) мощностью 1000 и 1500 МВт, а также установки «переднего» и «заднего края» ЯТЦ. При этом за основу берутся основные параметры, используемые в стратегии развития ТЭК Украины до 2030 года. Рассматриваются варианты открытого и замкнутого ЯТЦ (рис. 1 и 2).

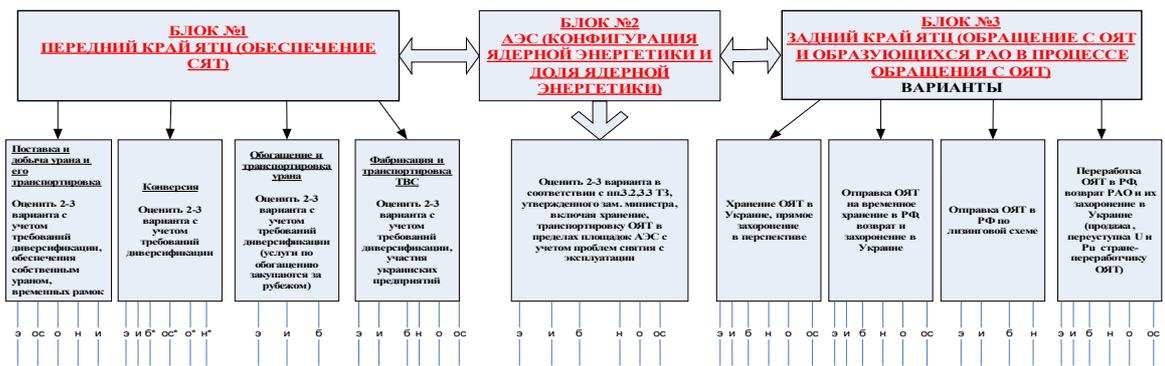


Рис. 1. Описание (схема) ИЯЭС в период до 2030 г. на основе ВВЭР, PWR с открытым ЯТЦ для Украины

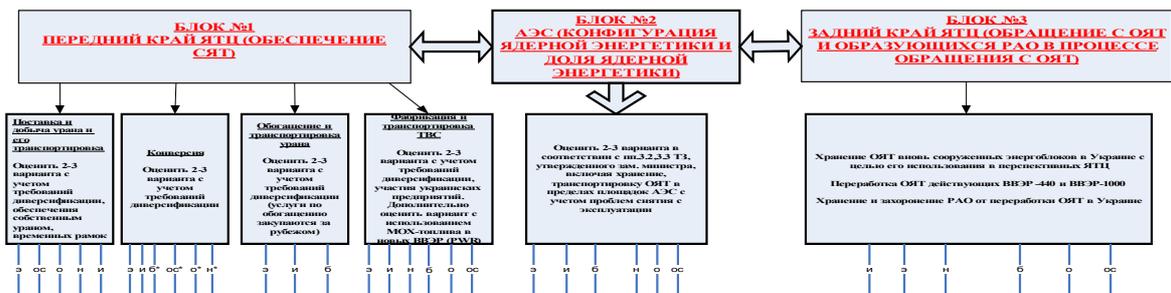


Рис 2. Описание (схема) ИЯЭС в период до 2030 г. на основе ВВЭР, PWR с переработкой ОЯТ действующих ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и хранением ОЯТ вновь сооружаемых энергоблоков:

э – экономика; и – инфраструктура; ос – окружающая среда; б – безопасность; н – нераспространение, о – обращение с отходами; * – если работы выполняются в Украине.

Последовательность выполнения работ:

1. Определяются доля выработки электроэнергии в стране на ЯЭС; типы блоков; временные рамки ввода в эксплуатацию; продление эксплуатации; снятие с эксплуатации энергоблоков. Описываются необходимая промышленная инфраструктура АЭС; варианты обращения с ОЯТ; необходимая инфраструктура.
2. Описывается инфраструктура и ее развитие по обеспечению СЯТ (передний край ЯТЦ).
3. Проводится оценка составляющих (экономика, инфраструктура, окружающая среда, безопасность, нераспространение, обращение с отходами) и в целом ИЯЭС в соответствии с методологией INPRO

Для национального исследования в рамках INPRO в период 2030 – 2050 гг. рассматривается ИЯЭС, включающая АЭС с введенными в более ранний период эволюционными РУ типа ВВЭР (PWR) и вводимыми замещающими мощностями на

основе инновационных проектов с БР (БН 800...1600), а также установки «переднего» и «заднего края» ЯТЦ, включая ЯУ промежуточного хранения ОЯТ и заводы по переработке ОЯТ (рис. 3).

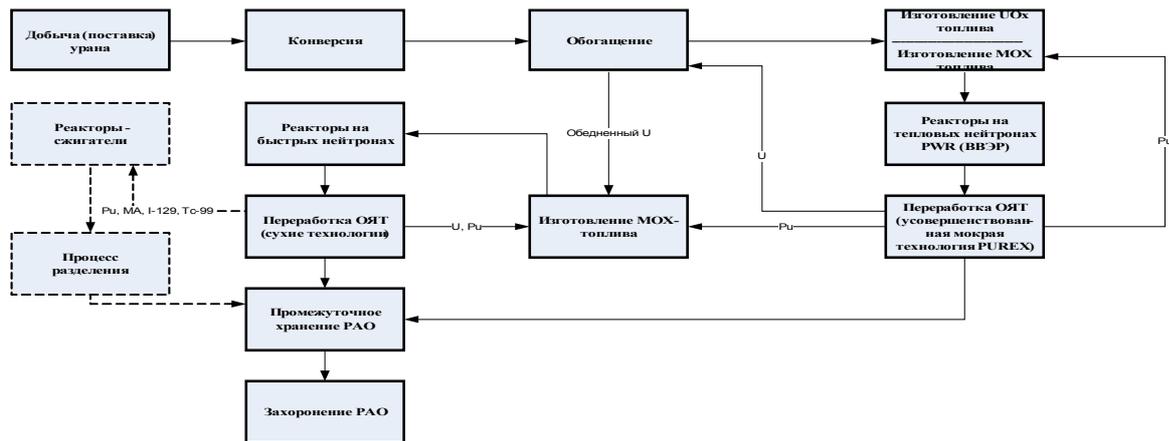


Рис. 3. Описание (схема) ИЯЭС в период 2030-2050 гг. на основе ВВЭР, PWR и БР с переработкой ОЯТ

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ. ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Неопределенность мировых энергетических сценариев, инерционность ядерных энергетических технологий, как наиболее наукоемких и технологически сложных, диктует необходимость рассмотрения сценариев на период не менее 100 лет (отработка технологий – от 20 до 40 лет, жизненный цикл энергоустановок – от 40 до 60 лет). В то же время должен рассматриваться период до 2050 года, поскольку:

- при оценке ИЯЭС до 2100 года очевидна значительная неопределенность в определении параметров развития народного хозяйства Украины и соответственно потребления и производства электроэнергии. Представить обоснованные значения макропоказателей развития государства на этот период представляется нереальной задачей;
- исходные данные для оценки ИЯЭС до 2050 года могут содержать существенные неопределенности. Однако при оценке этого периода можно использовать с определенными допущениями показатели развития страны до 2030 года, которые использованы при разработке Стратегии развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) Украины до 2030 года.

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ДОЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Сравнение ядерной энергетики с энергетикой, базирующейся на углеводородном топливе и возобновляемых источниках (ветер, солнечная радиация, биомасса и др.), необходимо проводить исходя из укрупненных данных, представленных в Стратегии развития ТЭК Украины до 2030 года.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АЭС, СОСТАВ ИЯЭС

Для всех рассматриваемых вариантов предусматривается продление срока эксплуатации действующих энергоблоков на 15 лет, сооружение новых ядерных энергоблоков на основе технологии PWR (ВВЭР) до 2025-2030 гг. (общая мощность в зависимости от выбранного сценария производства электроэнергии). При этом следует принимать срок эксплуатации новых энергоблоков на уровне 60 лет (с возможностью продления).

В рамках среднесрочных и долгосрочных задач (после 2030 г.) при рассмотрении инновационных проектов целесообразно рассматривать развертывание инновационных конструкций для выработки электроэнергии, получения пресной воды, производства водорода (БР, ВТР и др).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЭС ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ («ПЕРЕДНИЙ КРАЙ» ЯТЦ)

Оцениваются доступные по себестоимости добычи (с учетом прямых и косвенных затрат) запасы урана. Описывается, обосновывается и конкретизируется развитие производств и инфраструктуры в целом по добыче урана, а также по изготовлению комплектующих ТВС. Предусматриваются поставки ядерного топлива (или отдельных компонентов ТВС) из трех независимых источников, включая создание производства ядерного топлива (на основе UO_2) на территории Украины. Создание производств по изотопному обогащению урана и изготовлению MOX топлива в Украине в период до 2030 г. не рассматривается.

ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ ВВЭР (PWR) («ЗАДНИЙ КРАЙ» ЯТЦ)

Рассматриваются следующие варианты (опции) (см. рис. 1, 2):

1. Промежуточное хранение не вывезенного ОЯТ действующих АЭС Украины с реакторами ВВЭР с оценкой варианта прямого захоронения в Украине после 2030 г.

2. Продолжение вывоза ОЯТ действующих ВВЭР ЮУАЭС, ХАЭС, РАЭС на временное хранение в Российскую Федерацию (РФ) с последующим его возвратом и оценкой варианта прямого захоронения в Украине после 2030 г.

3. Продолжение вывоза ОЯТ действующих ВВЭР ЮУАЭС, ХАЭС, РАЭС на хранение с последующей переработкой в РФ, «переуступка» ценных продуктов переработки ОЯТ ВВЭР-1000 – урана и плутония стране-переработчику, хранение и захоронение РАО от переработки ОЯТ в Украине.

4. Продолжение вывоза ОЯТ действующих ВВЭР ЮУАЭС, ХАЭС, РАЭС на хранение с последующей переработкой в РФ, использование ценных продуктов переработки – урана и плутония в новых энергоблоках в составе МОХ ТВС; хранение и захоронение РАО от переработки ОЯТ в Украине.

5. Отправка ОЯТ ВВЭР, РWR в страну – поставщика топлива по лизинговой схеме.

6. Долгосрочное промежуточное хранение ОЯТ ВВЭР (РWR) в Украине с оценкой варианта его использования в перспективных ЯТЦ.

ОБРАЩЕНИЕ С ОЯТ РБМК -1000

Рассматривается промежуточное хранение ОЯТ РБМК-1000 в Украине с оценкой варианта прямого захоронения с предварительным определением временных рамок, развития необходимой инфраструктуры и учетом возможного использования инфраструктуры зоны отчуждения ЧАЭС.

ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Для всех рассматриваемых вариантов предусматривается:

- оценка воздействия на окружающую среду по всем значимым факторам и составляющим ЯТЦ (добыча и переработка урановой руды, изготовление компонентов ТВС, производство электроэнергии, снятие ЯУ с эксплуатации, обращение с отходами, обращение с ОЯТ (оцениваются выбросы и потребление материалов как непосредственно от источников в самой системе, так и косвенных источников), влияние строительства на ландшафт, истощение местных ресурсов, местная инфраструктура и др.);
- оценка экологического риска в сравнении с другими вариантами энергообеспечения (традиционная энергетика) и другими опасными производствами (на основании имеющихся исследований и публикаций);
- анализ условий размещения новых ЯУ и других необходимых объектов и производств для обес-

печения ввода в эксплуатацию и функционирования ЯУ с точки зрения экологических факторов.

ОБРАЩЕНИЕ С РАО

Рассматриваются все аспекты обращения с РАО, включая минимизацию образования РАО на предприятиях ИЯЭС, переработку ранее накопленных РАО с применением современных технологий, хранение и захоронение РАО. Должны быть исследованы аспекты обращения с РАО при выводе из эксплуатации объектов ИЯЭС, включая объекты уранодобывающей промышленности. В том числе рассматриваются варианты обращения с РАО при использовании инфраструктуры зоны отчуждения ЧАЭС.

Экономические параметры определяются и исследуются при следующих условиях и допущениях:

- использование законодательных норм и стандартов, действующих на момент проведения расчетных оценок;
- неизменное соотношение национальной и лидирующей валют;
- использование укрупненных составляющих стоимости производства энергии в расчете на единицу продукции и единицу установленной мощности;
- сохранение условия государственного ценового регулирования на весь период расчетной оценки;
- использование в оценках чувствительности не более трех параметров с ограничением диапазона отличия.

ЗАЩИЩЕННОСТЬ ОТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Защищенность от распространения определяется как характеристика ядерной энергосистемы, которая затрудняет переключение или незаявленное производство ядерного материала или незаявленное использование технологии государством, с целью получения ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств. Степень защищенности от распространения определяется, в частности, суммой технических особенностей конструкции, эксплуатационных возможностей, институциональных и гарантийных мер. Эти составляющие могут быть разделены на две группы – внутренне присущие свойства и внешние меры.

Внутренне присущие свойства защищенности от распространения – это свойства, вытекающие из технической конструкции ядерной энергосистемы, включая свойства, способствующие осуществлению внешних мер.

Внешние меры по защите от распространения – это те меры, которые вытекают из решений и обязательств, принятых государствами в отношении ядерных энергосистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения оценки ИЯЭС Украины в рамках проекта INPRO будут:

1. Оценены потребности Украины в электрической энергии, запасах энергоресурсов и возможная роль ядерной энергетики с учетом потенциальных источников энергии и тенденций развития мировой энергетики.

2. Определены предварительные структуры ИЯЭС с эволюционными проектами ЯЭУ на базе реакторов типа ВВЭР (PWR) в период до 2030 г. и ИЯЭС, включающие инновационные проекты в период после 2030 г. с учетом национальных и региональных условий (ресурсы, обеспечение СЯТ, эксплуатация и снятие с эксплуатации действующих АЭС, обращение с ОЯТ и РАО, управление, финансирование, разработка инфраструктуры, включая человеческие ресурсы и общественное мнение, наличие зоны отчуждения и т.д.).

3. С использованием методологии INPRO выполнена предварительная оценка выбранных ИЯЭС, а затем с помощью процедуры сравнительной оценки определена оптимальная для условий Украины ИЯЭС.

4. С использованием методологии INPRO выполнена оценка НИОКР и на ее основе определен перечень необходимых исследований и работ, которые должны быть выполнены на национальном и региональном уровнях, для развертывания ИЯЭС в период до и после 2030 года.

5. Определены основные направления деятельности органов государственного управления, заинтересованных организаций и предприятий при выборе ИЯЭС для ядерной энергетики Украины на ближайшую (до 2030 г.) и среднюю (до 2050 г.) перспективу с учетом имеющейся в Украине инфраструктуры, запасов первичных ресурсов (урана, циркония, тория), сложившейся кооперации (региональной и международной), специфических особенностей (зона отчуждения).

Эксперты по ядерным энерготехнологиям предлагают экспертам по другим энергетическим ресурсам и технологиям разрабатывать стратегию развития энергетики в региональном и глобальном масштабах на основе многофакторного анализа с учетом обеспечения главных принципов и критериев «устойчивого развития».

ЛИТЕРАТУРА

1. Международное агентство по атомной энергии, Методология оценки инновационных ядерных реакторов и топливных циклов: Отчет по фазе 1В (I часть) Международного проекта по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (INPRO), IAEA-TECDOC-1434, Вена, 2004.
2. Протокол 7 Заседания руководящего комитета INPRO, МАГАТЭ, Вена, 2-3 декабря 2004.

ПІДХОДИ ПРИ ВИКОНАННІ ОЦІНКИ ІННОВАЦІЙНОЇ ЯДЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДОЛОГІЇ INPRO

А.А. Афанасьєв, М.І. Власенко

Розглянуто підходи для виконання попередньої та порівняльної оцінки за Методологією INPRO (IAEA TECDOC-1434) інноваційних ядерних енергетичних систем (ІЯЕС) України з еволюційними проектами ядерних енергетичних установок, пропонує для впровадження в період до 2030 р., які, повинні відповідати всеосяжній меті стійкого енергозабезпечення, сприяти зміцненню принципів стійкості щодо захисту від розповсюдження і рішення енергетичних проблем на національному і регіональному рівнях. Використання результатів оцінок ІЯЕС з еволюційними проектами ядерних енергетичних установок дозволить сформулювати інформаційні, методологічні і науково-технічні основи вибору інноваційного проекту ІЯЕС і відповідного ЯПЦ, які можуть бути запропоновані для використання Україною після 2030 року.

APPROACHES FOR THE ASSESSMENT OF THE INNOVATIVE NUCLEAR SYSTEM OF UKRAINE ON THE BASE OF INPRO METHODOLOGY

A.A. Afanasyev, M.I. Vlasenko

Approaches for the preliminary and comparative assessment of Innovative Nuclear System (INS) of Ukraine using INPRO methodology (IAEA TECDOC-1434) suggested for deployment for the period up to 2030, which must answer the comprehensive purpose of sustainable development, contribute to strengthening of the non-proliferation principles and solving an energy problems supply on national and regional levels are presented in the paper. Using assessment results of the INS based on evolutionary designs will allow Ukraine to build informative, methodological and technical basis for choice of the INS based on innovative design which could be offered for deployment in Ukraine after 2030.