

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

УДК 621.039.53

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УКРАИНЕ

И.М. Неклюдов

Национальная академия наук Украины, г. Киев;

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,

г. Харьков, Украина; E-mail: neklyudov@kipt.kharkov.ua

Рассматривается состояние атомной энергетики в Украине, участие академических организаций в выполнении работ по проблемам научно-технического сопровождения работы действующих ядерных реакторов. Предлагаются возможные пути создания ядерного топливного цикла и направления развития ядерной энергетики.

ВВЕДЕНИЕ

По оценкам Международного энергетического агентства потребление энергии в мире последние 30 лет росло со скоростью более 3% в год.

Рост народонаселения (до 2% в год) и экономическое развитие в 21 веке приведут к повышению мирового производства в 3-5 раз к 2050 году и в 10-15 раз к 2100 году. Это потребует увеличения энергообеспечения в 3-5 раз.

Мировое сообщество внимательно обсуждает стратегию развития энергетики, которая обеспечила бы устойчивость систем энергоснабжения на длительную перспективу и гибкость их реакции на непрерывные изменения технологической, политической и экономической обстановки.

Увеличение населения Земли, истощение запасов органического топлива, растущее влияние «парникового» эффекта, отсутствие альтернативных источников необходимой энергомощности способствуют повышению роли ядерной энергетики в энергообеспечении мировой экономики.

Сейчас в 30 странах мира функционирует более 440 и сооружается 25 ядерных энергоблоков. Мощность ядерно-энергетических источников может вырасти к 2020 году в 2 раза, а к 2050 году – в 4 раза.

В ряде стран ядерная энергетика занимает доминирующее положение, вырабатывая свыше половины необходимой электроэнергии. К таким странам относится и Украина.

АЭС в Украине. По производству электроэнергии на АЭС Украина входит в восьмерку, а по вкладу получаемой электроэнергии в общий объем электроэнергии – в пятерку стран мира (рис. 1). Ядерная энергетика в Украине является важной составляющей общего топливно-энергетического комплекса и занимает ведущие позиции в электрообеспечении страны [1]. В настоящее время в Украине на 4-х АЭС действуют 13 ВВЭР-1000 и 2 ВВЭР-440 ядерных энергоблоков с общей установленной мощностью 13835 МВт (рис. 2). Из 15 атомных блоков для 12 энергоблоков в следующем 10-летию завершается спроектированный срок эксплуатации (таблица).

WORLD PERCENT OF NUCLEAR POWER IN THE PRODUCTION OF ELECTRICITY

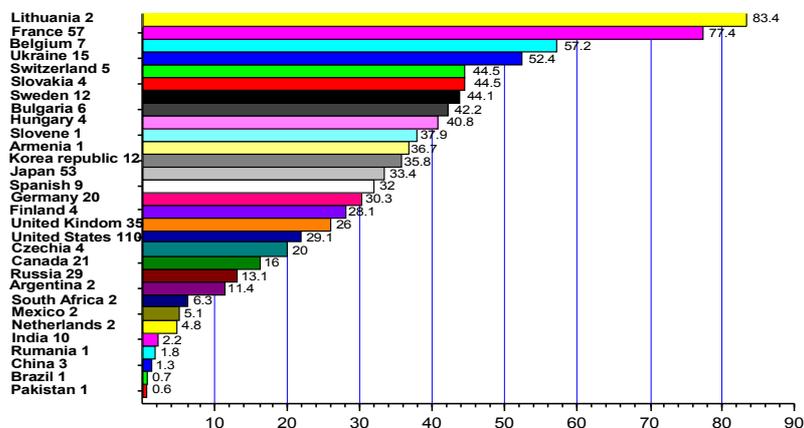


Рис. 1. Выработка электроэнергии на АЭС в разных странах
(в процентах от общего производства электроэнергии)

Рис. 2. Расположение атомных станций в Украине

Срок эксплуатации атомных энергоблоков

Наименование АЭС	№ энергоблока	Установл. эл. мощность (МВт)	Энергопуск энергоблока	Проектный срок вывода из эксплуатации
Запорожская	1	1000	10.12.1984	2014
	2	1000	22.07.1985	2015
	3	1000	10.12.1986	2016
	4	1000	18.12.1987	2017
	5	1000	14.08.1989	2019
	6	1000	19.10.1995	2025
Южно-Украинская	1	1000	31.12.1982	2012
	2	1000	06.01.1985	2015
	3	1000	20.09.1989	2019
Ровенская	1	420	22.12.1980	2010
	2	415	22.12.1981	2011
	3	1000	21.12.1986	2016
	4	1000	16.10.2004	2034
Хмельницкая	1	1000	22.12.1987	2017
	2	1000	08.08.2004	2034

За период 1990-2005 годы выработка электроэнергии в Украине на АЭС увеличилась с 76,2 до 88,78 млрд. кВт·ч, в то время как на ТЭС снизилась с 201,8 до 73 млрд. кВт·ч. Таким образом, в этот сложный для Украины период атомная энергетика

оставалась единственно устойчивым источником электроэнергии.

В энергетической стратегии Украины до 2030 года атомной энергетике отведено почетное место (рис. 3) [1].

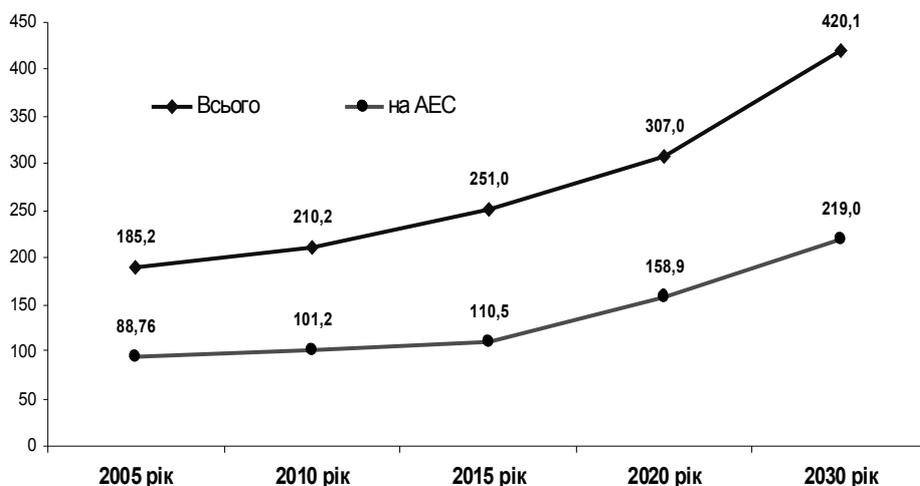


Рис. 3. Годовые выработки электроэнергии всего и на АЭС в Украине в период 2005-2030 годы в млрд. кВт·ч [1]

Однако дальнейшее ее развитие зависит от безопасности и эффективности работы ныне действующих АЭС. В целом параметры, характеризующие состояние ядерной и радиационной безопасности работающих энергоблоков, в последнее время не выходили за пределы нормативных значений, а радиационная защищенность обслуживающего персонала и населения обеспечивалась на достаточном уровне. Однако экономический кризис и связанный с ним кризис платежей привели к тому, что ядерная энергетика на протяжении многих лет кредитовала экономику страны. Долг потребителей перед ядер-

ной энергетикой превышает стоимость годового производства.

НАН и АЭС Украины. Национальная академия наук Украины всегда уделяла большое внимание проблемам атомной энергетики. Учитывая важность и наукоемкость развития ядерно-энергетического комплекса и необходимость более эффективного использования потенциала академических институтов в решении актуальных проблем ядерной энергетики Украины, по инициативе Бориса Евгеньевича Патона было создано новое отделение – Отделение ядерной физики и энергетики (ОЯФЭ). Более двух лет ОЯФЭ работает в

тесном взаимодействии с другими отделениями НАНУ, с НАЭК (Национальная атомная энергогенерирующая компания) “Энергоатом” и непосредственно с АЭС [2].

Во исполнение Указа Президента Украины и поручения Премьер-министра Украины НАН Украины разработала Государственную программу фундаментальных и прикладных исследований по проблеме использования ядерных материалов, ядерных и радиационных технологий в сфере развития отраслей экономики на 2004—2010 годы, в выполнении которой принимает участие свыше 30 организаций страны.

Основные проблемы ядерной энергетики, в решении которых принимают участие организации НАН Украины:

- непрерывное повышение безопасности и эксплуатационной надёжности всех систем управления и оборудования действующих атомных реакторов;
- проведение работ по ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы;
- решение проблемы обращения и хранения отработанного ядерного топлива и радиоактивных отходов;
- научно-техническое обоснование возможности продления срока эксплуатации атомных блоков, проектный ресурс 12 из которых завершается в следующем десятилетии;
- создание оптимальной инфраструктуры по обеспечению надёжной и безопасной работы и развитию ядерной энергетики в Украине;
- развитие системы подготовки и повышения квалификации работающего персонала на АЭС.

Особый интерес сейчас представляет научно-техническое обоснование возможности продления сроков службы корпуса АЭС и других систем оборудования. В решении этой проблемы принимают участие многие институты НАН Украины совместно с НАЭК «Энергоатом» и непосредственно с АЭС.

Актуальность проблемы продления ресурса и управления сроком службы основного оборудования АЭС Украины обосновывается прежде всего:

- высокой стоимостью и длительностью строительства новых АЭС;
- возможностью отсрочки по времени решения проблем закрытия АЭС и захоронения радиоактивных отходов;
- экономической эффективностью продления срока эксплуатации АЭС.

Приведем лишь некоторые научно-технические разработки в этом направлении НИИ НАНУ в последние два года.

ННЦ ХФТИ совместно с АЭС Украины выполнен комплекс НИР и ОКР по разработке и внедрению способов вырезки темплетов для микро-образцов – как прямой метод контроля структуры и свойств основного оборудования и трубопроводов энергоблоков после длительной эксплуатации без

нарушения конструкционной целостности и прочности изделий.

Исследования темплетов со сварных швов главных циркуляционных трубопроводов (ГЦТ) ЮУАЭС, РАЭС, ЗАЭС позволили научно обосновать возможность продления срока службы ГЦТ после 100 тыс. ч службы на следующие 50 тыс. ч эксплуатации.

Намечен комплекс мероприятий по реализации вырезки темплетов с внешней и внутренней поверхности корпусов реакторов для непосредственного контроля их механических свойств и структурного состояния до и после эксплуатации.

Проводятся широкие исследования причин преждевременного разрушения теплообменных труб (ТОТ) парогенераторов. ННЦ ХФТИ совместно с НАЭК, ЗАЭС, ЮУАЭС по данным вихрекового контроля и металлографических исследований разработали Атлас эксплуатационных дефектов в ТОТ парогенераторов ВВЭР.

Создание Атласа дефектов позволяет установить корреляцию между данными вихрекового контроля и реальными дефектами теплообменных труб и способствует выработке научного обоснования критерия глушения трубок.

Институт электросварки им. Е.О.Патона совместно с **Институтом ядерных исследований** разработали типовую программу контроля свойств корпусов реакторов по образцам-свидетелям; технологию сварки в узкий зазор трубопровода парогенератора ВВЭР-1000 (шов 111); предложили технологию герметизации контейнеров для хранения ОЯТ; разрабатывают технологию изготовления композитных сварных соединений трубопроводов 2-го контура с целью увеличения их ресурса; разработали специальный вихрековый зонд для неразрушающего контроля труб парогенераторов.

Институт геохимии окружающей среды выполнил работы по функциональному районированию Чернобыльской зоны отчуждения, по комплексному экологическому мониторингу в зоне Ташлыкской ГАЭС и Александровской ГЭС. Разрабатывает методологии оценки безопасности барьеров при выборе мест для геологического хранилища долговременных РАО. Создает геолого-информационную модель Чернобыльской зоны с целью выбора перспективных мест для сооружения геологического хранилища долговременных РАО и ОЯТ.

Институт проблем прочности разрабатывает методики и нормативные документы по оценке конструкционной прочности и ресурса корпусов реакторов, трубопроводов АЭС Украины в процессе их эксплуатации.

Институт ядерных исследований проводит непрерывные исследования влияния нейтронного облучения и других факторов на радиационное охрупчивание корпусов реакторов Украины, разрабатывает системы мониторинга нейтронного потока на корпус реактора. Работы по определению фактического состояния металла корпусов реакторов ВВЭР, по разработке технологии восстановления свойств корпусов и продления срока их эксплуатации яв-

ляются чрезвычайно важными и актуальными. Решение проблемы корпусов реакторов Украины усложняется тем, что они по условиям эксплуатации, по химическому составу и технологии изготовления отличаются от корпусов, используемых на Западе. Кроме того, в 80% сварных швах тринадцати корпусов украинских ВВЭР-1000 содержание никеля оказалось выше допустимой нормы (1,3%). Результаты исследований последних лет свидетельствуют о возможности ускорения процессов радиационного охрупчивания корпусной стали при наличии в твёрдом растворе свыше 1,3% никеля.

В Институте электрофизики и радиационных технологий разработаны тепловизионные технологии диагностики и контроля безопасности эксплуатации оборудования АЭС.

О ядерном топливном цикле Украины. Украина не имеет собственного производства ядерного топлива. АЭС Украины полностью зависят от поставок ядерного топлива из России, в процессе изготовления которого частично используется сырьё и материалы украинского происхождения.

В Украине имеются два пути решения проблемы с ядерным топливом:

- создание собственного производства ядерного топлива;
- поиск альтернативных поставщиков топлива в Украину, что даст возможность закупки топлива на тендерной основе.

Украина обладает широким ассортиментом различных материалов, передовыми технологиями обработки, изготовления, сварки изделий. Мы имеем богатые запасы урана, циркония, гафния – основных компонентов для производства топливных кассет и элементов систем управления и защиты реакторов. Научные центры Украины имеют большой опыт и внесли заметный вклад в развитие атомной науки и техники бывшего Союза. Украина обладает научно-техническим и промышленным потенциалом для создания большинства собственных составляющих ядерного топливного цикла (рис. 4).

Схема топливного цикла для реакторов на тепловых нейтронах
(Затемнённым показаны составляющие ЯТЦ, присутствующие в Украине)



30

Рис. 4. Схема топливного цикла для реакторов на тепловых нейтронах (составляющие ЯТЦ, присутствующие в Украине, показаны затемнёнными)

Создание замкнутого топливного цикла в Украине, для реализации которого необходимы огромные капиталовложения и соответствующие международные соглашения, является задачей будущего. Наиболее эффективным путем при существующем парке энергоблоков «советской» конструкции является усиление кооперации с Россией и Казахстаном в

производстве ядерного топлива для украинских АЭС. В эту кооперацию Украина должна входить с максимально возможным вкладом как собственных сырьевых ресурсов урана и циркония, так и отечественных технологических и производственных возможностей (рис. 5).

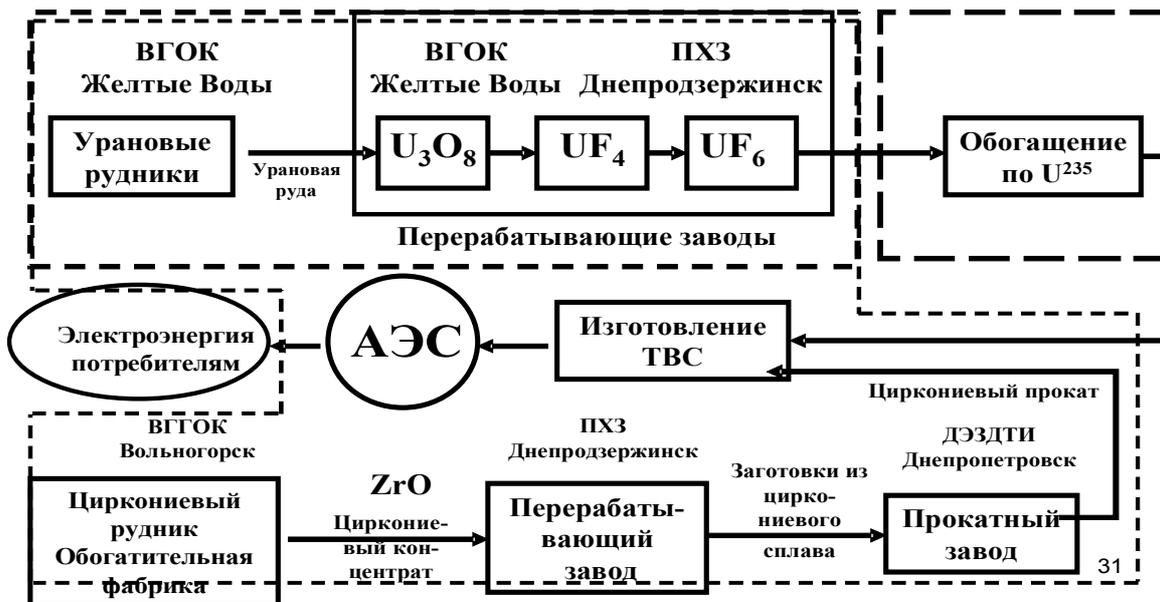


Рис. 5. Схема возможных составляющих ЯТЦ Украины

Ядерный топливный цикл – это основа атомной энергетики. Составленная ранее Программа создания ЯТЦ в Украине, несмотря на многочисленные согласования на высшем уровне, не выполнена и устарела. Во исполнение стратегии развития атомной энергетики в Украине необходимо разработать технически обоснованную и финансово обеспечива-

емую реальную программу создания ЯТЦ, которая органично связывала бы все аспекты и этапы работ по этой сложной проблеме [3]. В настоящее время наблюдаются только разрозненные попытки создания отдельных программ и концепций, не связанных воедино.

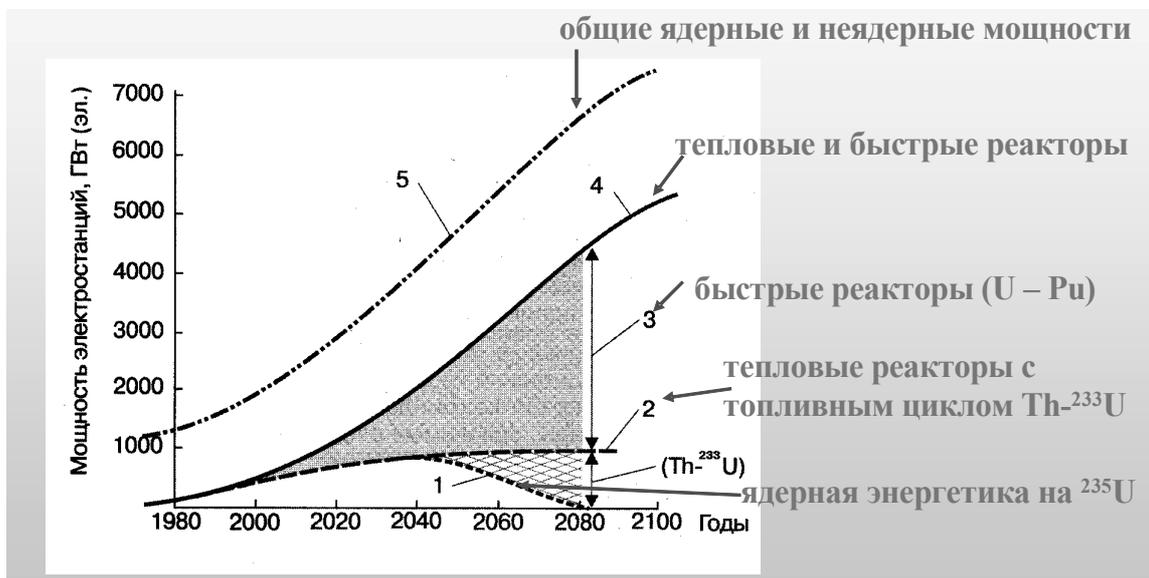


Рис. 6. Прогноз роста мощностей электроэнергии от различных источников

Прогнозы роста ядерных энергогенерирующих мощностей. Из приведенного на рис. 6 графика следует, что:

- дальнейшее развитие ядерной энергетики на основе традиционных реакторов на тепловых нейтронах маловероятно (ограничены запасы ^{235}U);

- необходим переход на топливный цикл $\text{Th} - ^{233}\text{U}$ для поддержания уровня выработки энергии на тепловых реакторах на уровне 1000 ГВт (эл.);
- для повышения ядерных энергогенерирующих мощностей наиболее перспективны реакторы на быстрых нейтронах. Ввод быстрых реакторов с 2040 года практически решит проблему с ура-

ном-235, поскольку позволит снизить его потреб-

ности в атомной энергетике к 2100 году с 240 до 50 тыс. т в год (рис. 7).

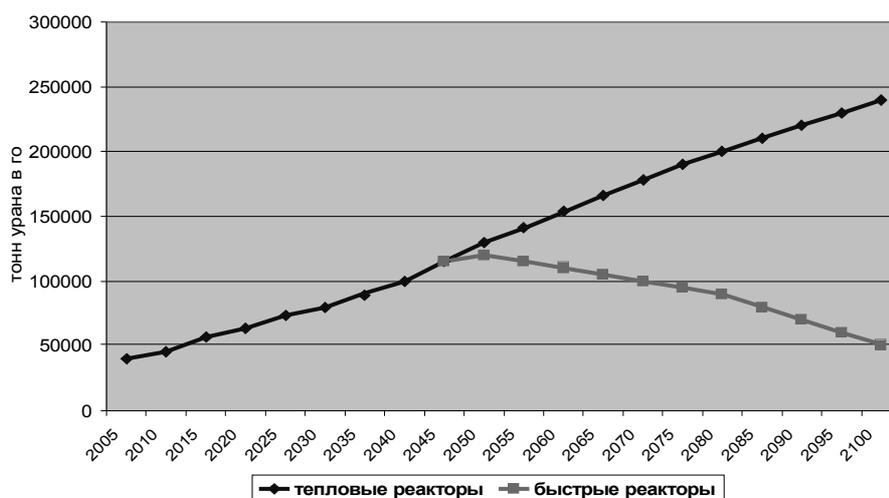


Рис. 7. Прогноз мировых потребностей в уране-235 до 2100 года

Перспективные разработки. Особое внимание должно быть уделено разработке новых, гарантировано безопасных ядерных источников энергии [4]. Поэтому совместно с научными центрами России и других стран в НАН Украины проводятся исследования и разработки:

- реакторов с управлением цепной реакции деления ядер с помощью внешнего источника нейтронов;
- высокотемпературных гелиевых реакторов, в том числе для производства водорода;
- быстрых жидко-солевых реакторов;
- быстрого реактора, работающего в режиме волны ядерного горения (реактор Феоктистова);
- энергетических термоядерных установок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для безопасной эксплуатации действующих реакторов, повышения экономической эффективности украинских атомных электростанций и их развития необходимы дальнейшие исследования и разработки в таких направлениях:

- модернизация и реконструкция ядерных блоков с целью повышения их безопасности и обеспечения эффективной эксплуатации;
- создание новых систем диагностики оборудования, научное обоснование и разработка нормативных документов для удлинения на 10-15 лет срока безопасной работы энергоблоков;
- разработка и реализация программы обращения с отработанным ядерным топливом и радиоактивными отходами;
- подготовка и сопровождение снятия с эксплуатации объектов ядерной энергетике;

- выбор и строительство новых атомных энергоблоков с повышенным уровнем безопасности;
- исследование и разработка ядерно-энергетических установок четвертого поколения с высокой эффективностью и гарантированной управляемостью;
- создание оптимальной инфраструктуры обеспечения надежного и безопасного функционирования и развития ядерной энергетике в Украине;
- внедрение новых технологий радиационного контроля с высокой чувствительностью систем получения, обработки и анализа информации, систем физической защиты ядерных объектов и предотвращения радиационного терроризма;
- усовершенствование и расширение системы подготовки и переподготовки высококвалифицированных специалистов для предприятий ядерно-энергетического комплекса Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Стратегия развития ядерной энергетике в Украине на период до 2030 года и на дальнейшую перспективу (проект)*. Киев, 2005, 34 с.
2. И.М. Неклюдов. Современное состояние и перспективы развития атомной энергетике в Украине // *Энергетическая политика Украины*. Киев, 2006, с. 385–390.
3. Н.А. Фридман, В.П. Новиков. Будущее развитие ядерных реакторов и топливных циклов – ядерная технология естественной безопасности // *Новины энергетике*. 2001, N3, с. 18–21.
4. Е.А. Миколайчук. *Доклад о состоянии ядерной и радиационной безопасности в Украине в 2005 году*. ГК ЯРУ. 2006, 50 с.

СТАН І ПРОБЛЕМИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

I.M. Неклюдов

Розглядається стан атомної енергетики в Україні, участь академічних організацій у виконанні робіт по проблемам науково-технічного супроводження роботи діючих ядерних реакторів. Запропоновані можливі шляхи створення ядерного паливного циклу і напрямки розвитку ядерної енергетики.

STATE AND PROBLEMS OF NUCLEAR POWER IN UKRAINE

I.M. Neklyudov

State of nuclear power in Ukraine, participation of academic organizations in execution of works on problems of science-technologic assistance of operating nuclear reactors are examined. The possible ways of nuclear power cycle and nuclear power development are proposed.