3. Расчет параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов. Расчет технико-экономических показателей работы МТА: метод. указания к практическим занятиям/ сост. А.П. Карабаницкий, Е.М. Юдина, Н.А. Ринас. – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 50 с.
4. Теоретическое обоснование параметров энергосберегающих машинно-тракторных агрегатов: метод. указания / под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Г. Г. Маслова. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 83с.
5. Протокол № 13 – 159- 89 (9036230) предварительных испытаний опытного образца, мостового электрифицированного шасси ШМЭ – 9/ КубНИИТиМ. - Новокубанск, 1989.
6. Протокол № 13-110-90 (9038000) от 5 декабря 1990г. предварительных испытаний сеялки рядковой СТР-2/ КубНИИТиМ. - Новокубанск, 1990.
7. Протокол №13-162-89 (9036260) предварительных испытаний опытного образца сеялки для посева семян и присыпки семян и рассады табака СПТ-2. -Новокубанск, 1989.

Галимьянова К.Р., Малых Д.А., Барышев Е.Е.

Перспективы развития атомной энергетики на примере Белоярской АЭС

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина,

(Россия, Екатеринбург)

doi: 10.18411/sr-10-08-2019-06

idsp: sciencerussia-10-08-2019-06

Аннотация

Рассмотрены основные тенденции развития как мировой атомной энергетики, так атомной энергетики в России. Особенное внимание уделено особенностям функционирования Белоярской атомной электростанции. Выявлены основные преимущества и недостатки использования атомных реакторов на быстрых нейтронах. Рассмотрена проблема влияния БАЭС на окружающую среду, а также перспективы использования МОХ-топлива.

Ключевые слова: атомная энергетика, атомная электростанция, Белоярская атомная электростанция, реакторы на быстрых нейтронах, МОКС-топливо.

Такие глобальные проблемы человечества как парниковый эффект, истощение запасов природных энергетических ресурсов, рост численности населения, планеты (и как следствие, увеличения потребности в электроэнергии — основы большей части технологических процессов) дают возможность с уверенностью сказать, что будущее мировой энергетики стоит за энергией атомов.

Атомная энергетика является наиболее перспективной подотраслью глобальной энергетики и обладает следующими преимуществами:

- высокая энергоемкость;
- возможность повторного использования компонентов ядерного топлива;
- сравнительно низкое влияние выбросов АЭС на атмосферу;
- низкая себестоимость полученной электроэнергии.

Доля ядерных источников в мировом производстве электроэнергии в 2015 году составила лишь 10,6 % (на первом месте уголь/торф — 39,3 %, на втором природный газ — 23,9 %, на третьем гидроресурсы — 16 %) [1].

Мировые лидеры в производстве атомной энергии по состоянию на 1 февраля 2017 года (по данным PRIS) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Производство атомной энергии в мире

Страна	Мощность производимой энергии, МВт	Количество АЭС	Количество блоков
США	100351	60	100
Франция	63130	19	58
Япония	40290	17	43
Китай	31384	13	36
Россия	26490	10	36

По доле атомной энергетики в энергетике страны лидерами являются: Франция (72,3 %), Словакия (54,1 %), Украина (52,3 %), Бельгия (51,7 %). Россия занимает восемнадцатую строку с долей 17,1 % [1,2].

После аварии на АЭС Фукусима в Японии наблюдается тенденция отказа от ядерной энергетики, путем вывода из эксплуатации АЭС и их последующей ликвидации. Также в некоторых странах проводятся мероприятия по ее сокращению и стагнации. Согласно докладу о состоянии индустрии ядерной энергетики, в отрасли наблюдается спад. Пик производства энергии зафиксирован в 2006 году (2660 ТВт·ч). Доля ядерной энергетики в глобальном производстве электричества снизилась с 17,6 % в 1996 году до 10,7 % в 2015 году. 164 реактора были закрыты.

Причины отказа от ядерной энергетики могут быть следующими:

1) Реакция мировой общественности на аварии, произошедшие на АЭС в Три-Майл-Айленде (США, 1976 год), Чернобыле (СССР, 1986 год), и, особенно, аварии на Фукусиме-1 (Япония, 2011 год).

2) Кажущаяся дешевизна производства. Атомная энергия в краткосрочном периоде действительно более выгодна, по сравнению со своими аналогами, но в более отдаленных этапах эксплуатации возникает проблема дороговизны технологического обслуживания реакторов, замены стержней. Необходимо учитывать расходы на подготовку высококвалифицированного персонала. Также существует проблема безопасной для экологии и человека утилизации ядерных отходов.

3) Влияние АЭС на человека. Если с выбросами естественных радионуклидов (тория, урана, радий), выделяемыми ТЭЦ и представляющих собой естественную радиацию, живой организм способен справиться, не получив при этом какого-либо значительного урона здоровью (до определенных пределов), то техногенные нуклиды, выделяемые на АЭС (плутоний, цезий-137, стронций-90 и др.) оказывают пагубное влияние на организм человека и его здоровье, аккумулируясь в различных тканях, распадаясь с выделением радиации [3].

Несмотря на тенденцию по сокращению доли атомной промышленности в мировой электроэнергетике, в России наблюдается интенсивное развитие данной отрасли. Россия обладает технологией производства атомной энергии полного цикла: от добычи урановых руд до выработки электроэнергии, а также значительными разведанными запасами руд.

За последние 20 лет данная отрасль в России активно расширяется. Так, если в 2002 году АЭС России выработали 140 млрд кВт·ч, в 2007 году — 158,3 млрд кВт·ч (что составило 15,9 % от общей выработки в Единой энергосистеме России), то в 2018 году АЭС России выработали 204,3 млрд кВт·ч (18,7% от общей выработки). (см. рис. 1)

Рис. 1 Общая выработка атомной электроэнергии в России по годам

По данным на январь 2019 года в Российской Федерации функционируют 10 АЭС, 37 энергоблоков общей мощностью 30 214,30 МВт, из них 20 реакторов с водой под давлением — 13 ВВЭР-1000, 2 ВВЭР-1200, 5 ВВЭР-440; 15 канальных кипящих реакторов — 11 РБМК-1000 и 4 ЭГП-6; 2 реактора на быстрых нейтронах — БН-600 и БН-800 (см. табл. 2) [4].

Рассмотрим особенности работы атомных электростанций России на примере Белоярской атомной станции. На станции два действующих энергоблока: БН-600 (мощностью 600 МВт), введенный в эксплуатацию в 1981 году и БН-800 (880 МВт) — в 2016 году. Они являются единственными в мире функционирующими в настоящее время энергоблоками с реакторами на быстрых нейтронах.

Основные преимущества и недостатки работы реакторов на быстрых нейтронах приведены на рис. 2.

При всех достоинствах данной АЭС, нельзя забывать о существовании первой аксиомы безопасности жизнедеятельности: «Любая деятельность потенциально опасна»! То есть в природе не может существовать абсолютно безопасного производства электроэнергии. Влияние атомных станций на все окружающее пространство начинается с момента возведения и не заканчивается даже по окончании эксплуатации.

Таблица 2

Производство атомной электроэнергии в России

Название АЭС	Субъект РФ	Энергоблоки	Общая мощность электростанции
Балаковская	Саратовская обл.	ВВЭР	4000 МВт
Белоярская	Свердловская обл.	БН	1464 МВт
Билибинская	Чукотский АО	ЭГП	36 МВт
Калининская	Тверская обл.	ВВЭР	4000 МВт
Кольская	Мурманская обл.	ВВЭР	1760 МВт
Курская	Курская обл.	РБМК	4000 МВт
Ленинградская	Ленинградская обл.	РБМК, ВВЭР	4200 МВт
Нововоронежская	Воронежская обл.	ВВЭР	2597 МВт
Ростовская	Ростовская обл.	ВВЭР	4030 МВт
Смоленская	Смоленская обл.	РБМК	3000 МВт

БАЭС негативно воздействует на все составляющие окружающей среды: атмосферу, гидросферу и почву, а в конечном итоге — на человека.

1. Большинство атомных электростанций обладают средним значением КПД, равным 33-35 %, а это значит, что оставшиеся 65-67 % тепла рассеивается в атмосфере. Тепловое воздействие градирен, охлаждающих систем и брызгальных бассейнов является одним из главных значительных факторов, влияющих на атмосферу.

2. В качестве охладителя и источника водоснабжения БАЭС использует Белоярское водохранилище, в котором обнаруживаются высокие уровни трития, а

также кобальт, стронций, цезий и альфа-активный европий. В соседнем Ольховском болоте — плутоний, представляющий непомерную опасность для человека и окружающей среды. Большинство сбрасываемых радиоактивных веществ включаются в биологические цепочки и аккумулируются в организмах представителей местной фауны.

Рис. 2 Преимущества и недостатки работы реакторов БН

Вследствие того, что почва способна поглощать радионуклиды, выделяемые ядерными отходами реакторов, происходит включение радиоактивных веществ в пищевые цепи и поражение живых организмов [5].

Комплекс хранения отходов на БАЭС делится на хранилища жидких (ЖРО) и твердых радиоактивных отходов (ТРО). Их общий объем составляет 19876 м³. При существующих темпах поступления, время заполнения хранилищ высокоактивными отходами составит более 20 лет, а отходами низкой и средней активности — более 100 лет.

Для уменьшения количества отходов на станции Белоярская АЭС планирует полностью вывезти отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) с двух энергоблоков типа АМБ на ПО "Маяк", расположенное в городе Озерск в Челябинской области, к 2023 году для его последующей переработки.

В 2019 году планируется полностью перевести активную зону реактора БН-800 на использование МОХ-топлива, для изготовления которого будет использоваться отработавшее ядерное топливо (ОЯТ) реакторов на тепловых нейтронах типа РБМК и ВВЭР. В настоящее время реактор БН-800 работает на ядерном «топливе будущего» приблизительно на 25 % [6].

МОХ-топливо (англ. *Mixed-Oxide fuel*) — ядерное топливо, содержащее несколько видов оксидов делящихся материалов. В основном термин применяется для смеси оксидов плутония и природного урана, обогащённого урана или обеднённого урана, которая ведёт себя в смысле течения цепной реакции сходно (хотя и не идентично) с оксидом низкообогащённого урана. Наиболее эффективное использование МОХ топлива — сжигание в реакторах на быстрых нейтронах [7].

Преимущества данного вида топлива заключаются, во-первых, в том, что при его производстве могут необратимо утилизироваться излишки оружейного плутония, которые в противном случае являлись бы радиоактивными отходами или могли бы использоваться для создания ядерного оружия, во-вторых, МОХ топливо можно получать путём переработки облучённого топлива с энергетических реакторов типа РБМК и ВВЭР, и, в-третьих, при хранении отходов переработки данного топлива, они

остаются радиоактивными не более 100 лет, что значительно меньше по сравнению с хранением ОЯТ, сохраняющего высокую активность сотни лет.

Недостатки МОХ-топлива: не до конца отработанная технология изготовления МОХ-топлива из ОЯТ, накопленного после работы в тепловых реакторах, в связи с чем изготовление данного вида топлива приблизительно в 3 раза дороже обычного топлива; данный вид топлива имеет более нестабильное состояние, а также более жесткие требования к режимам эксплуатации.

Ближайшая перспектива развития БАЭС заключается в совершенствовании и оптимизации проекта БН-800, использовании в его активной зоне только смешанного уран-плутониевого МОХ-топлива [8].

1. Nuclear Share of Electricity Generation in 2017 [Электронный ресурс] // International Atomic Energy Agency URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>
2. Operational & Long-Term Shutdown Reactors [Электронный ресурс] // International Atomic Energy Agency URL: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>
3. Атомная энергетика: аргументы «за» и «против» [Электронный ресурс] // Экорепортер URL: <http://ecoreporter.ru/node/336>
4. Генерация электроэнергии [Электронный ресурс] // Росатом URL: <https://www.rosatom.ru/production/generation/>
5. Атомная энергетика и ее безопасность [Электронный ресурс] // Кафедра молекулярной физики ФТФ, УГТУ-УПИ URL: <http://molphys.ustu.ru/Study/Atom/cap4.html>
6. Переработку отработавшего ядерного топлива с Белоярской АЭС начнут в 2024 году [Электронный ресурс] // ТАСС URL: <https://tass.ru/ural-news/6090214>
7. МОКС топливо, MOX топливо (англ. Mixed-Oxide fuel) [Электронный ресурс] // Neftegaz.ru URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/142131-moks-toplivo-mox-toplivo-angl-mixed-oxide-fuel/>
8. Блок Белоярской АЭС БН-800: новые перспективы атомной энергетики [Электронный ресурс] // Атомная энергия URL: <http://www.atomic-energy.ru/interviews/2015/12/18/62072>

Ермошкин В.И., Фенюк Е.Е., Щербинко А.В.

Квалиметрическая оценка надёжности программного обеспечения сложных радиоэлектронных систем

*ЗАО НИЦ «РЕЗОНАНС»
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/sr-10-08-2019-07

idsp: sciencerrussia-10-08-2019-07

Аннотация

При разработке новых сложных радиоэлектронных систем (РЭС) для подтверждения тактико-технических характеристик силами предприятий разработчиков и изготовителей проводятся различные виды испытаний.

Ключевые слова: радиоэлектронные системы, программное обеспечение, квалиметрическая оценка, средства вычислительной техники.

Наиболее сложные, дорогостоящие, трудоемкие и длительные виды испытаний - испытания на надежность которые составляют 70% всех затрат на испытания. Следовательно, экспериментальное определение параметров надежности изделия, в том числе и программного обеспечения (ПО), обеспечивающего функционирование РЭС, к которым относятся безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность являются актуальной задачей. Расчетные оценки могут быть завышенными.

Для квалиметрической оценки показателей надежности на соответствие заданным, испытания РЭС проводят с большой интенсивностью.