

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СИБИРИ. ЭКОЛОГИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОНОМИКА

**В.И. Бойко\*, Ф.П. Кошелев\*, Г.М. Пшакин\*\*, О.В. Селиваникова\***

*\*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск*

*\*\*Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, г. Обнинск*



В статье кратко рассмотрены проекты ГК РОСАТОМ в Красноярском крае, Иркутской и Томской областях. Особое внимание уделено строительству Северской АЭС в Томской области. Аргументированы необходимость и основания для строительства АЭС. Оценены последствия (экологические, экономические, безопасность) гипотетической ситуации, при которой энергоблоки электрической мощностью 2300 МВт использовали бы в качестве топлива уголь, газ или другие альтернативные источники.

**Ключевые слова:** атомная промышленность, АЭС, источники энергии, Государственная корпорация РОСАТОМ, Федеральная целевая программа (ФЦП), ядерный топливный цикл (ЯТЦ), объединенная энергетическая система (ОЭС) Сибири.

**Key words:** nuclear industry, NPP (Nuclear Power Station), energy sources, State Corporation Rosatom, Federal Target Program (FTP), nuclear fuel cycle (NFC), united energy system of Siberia (UES).

Правительство России отнесло ядерную энергетику к числу приоритетов в экономическом развитии Российской Федерации. Кризис наглядно продемонстрировал, что «локомотивом» для инновационного роста должны быть не сырьевые отрасли, а высокотехнологические, к которым, безусловно, относится ядерная энергетика.

В России принята Федеральная целевая программа (ФЦП) «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России» на 2007–2010 гг. и на перспективу до 2015 г.». Основная ее цель – реализация ускоренного развития атомного энергопромышленного комплекса для обеспечения геополитических интересов страны и энергетической безопасности России. Это не просто политическая, научная, хозяйственно-техническая или экономическая задача, а очень трудная проблема, связанная прежде всего с формированием заново в общественном мнении положительного отношения к атомной отрасли.

Для использования огромных возможностей, которые дают человечеству ядерные технологии, необходимы специальные научные знания, подготовка соответствующих кадров и разъяснительная работа с населением.

Несмотря на то, что в Сибири извлекаемые разведанные запасы нефти составляют 77% запасов Российской Федерации, природного газа – 85%, угля – 80%, меди – 70%, никеля – 68%, свинца – 85%, цинка – 77%, молибдена – 82%, золота – 41%, металлов платиновой группы – 91%, гидроэнергетических ресурсов – 45%, биологических – более 41%, ее экономическое развитие отстает от европейской части страны [11, 14].

К числу основных факторов, сдерживающих экономическое развитие Сибири, относится качественное ухудшение сырьевой базы (доля трудноизвлекаемых запасов нефти и газа составляет 55–60% и продолжает расти); недостаточный уровень развития транспортной инфраструктуры; повышенный расход топливно-энергетических ресурсов на производственные и социальные нужды из-за суровых природно-климатических условий. Учитывая эти факторы, специалисты предлагают сократить расход топливно-энергетического сырья за счет строительства атомной станции.

В Сибирском регионе имеется необходимый производственно-промышленный комплекс, осуществляющий полный ядерный цикл от добычи и переработки уранового сырья и изготовления топливных сборок до утилизации облученного ядерного топлива, что обеспечит и оптимизирует функционирование АЭС.

По заключению ООО «Межрегиональный проектно-исследовательский научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей» в соседних с Томской областью регионах Сибирского федерального округа (Омская, Кемеровская и Новосибирская области, Алтайский край и Республика Алтай) суммарный дефицит мощности по выработке электроэнергии составляет уже сегодня около 2 ГВт. При этом более 40% тепловых электростанций значительно (до 80%) выработали свой ресурс, и к 2015 г. доля таких энергоблоков составит около 75%. Рассмотрим проекты ГК РОСАТОМ в Сибири.

Таблица 1

#### Оптимизация ТЭБ ОЭС Сибири

Год	ТЭС на угле, %	ТЭС на газе, %	ТЭС на мазуте, %	ГЭС, %	АЭС, %
2005	41,6	8,2	0,4	49,9	0
2015	51,6	8,7	0,4	36,4	2,9
2020	52,9	8,9	0,4	32,5	5,2
2030	52,3	8,8	0,4	25,9	12,5

### ПРОЕКТЫ ГК РОСАТОМ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

#### ФГУП «Горно-химический комбинат»

- Строительство завода полупроводникового кремния на базе ФГУП «Горно-химический комбинат» (первый пусковой комплекс мощностью 200 тонн в год введен 4 сентября 2008 г.).
- Строительство сухого хранилища облученного ядерного топлива реакторов РБМК-1000 и ВВЭР-1000 (ХОТ-2).
- Строительство первоочередных объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив).
- Опытно-демонстрационный центр по переработке отработавшего ядерного топлива на основе инновационных технологий.
- Реконструкция полигона твердых радиоактивных отходов.
- Строительство производственного комплекса МОКС-топлива.

**ОАО «ПО Электрохимический завод»**

- «W-ЭХЗ» – создание производственного комплекса по обесфториванию ОГФУ на базе действующей технологии фирмы COGEMA (мощностью около 10 тыс. тонн в год).

**ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат»**

- Ключевыми производствами являются конверсия урана в гексафторид и его последующее обогащение; мощность сублиматного завода составляет 20 тыс. тонн урана в год, а разделительные мощности – 2 млн. ЕРР (ок. 10% всех российских обогатительных мощностей).

- Международный центр по предоставлению услуг ЯТЦ, включая обогащение, под контролем МАГАТЭ.

- Проект «Кедр» – технология химического восстановления ОГФУ.

**Томская область. Северская АЭС**

Необходимость строительства Северской АЭС [1-3, 6, 14] продиктована сложной ситуацией в энергосистеме Томской области и объединенной энергосистеме Сибири в целом.

Объем собственного производства электроэнергии в энергосистеме Томской области после плановой остановки реакторов на Сибирском химическом комбинате (в 2008 г.) сократился до 40%.

Восполнение дефицита происходит за счет поставок электроэнергии из соседних регионов. Северные районы области, где сосредоточена добыча нефти и газа, снабжаются от энергосистемы Тюменской области. Недостающая электроэнергия для южной части области поставляется из Кузбасской, Новосибирской и Красноярской энергосистем.

**Основаниями для строительства Северской АЭС являются следующие документы**

- «Энергетическая стратегия России на период до 2020 г.», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 августа 2003 г. № 1234-р.

- «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 г.», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2008 г. № 215-р.

- «Энергетическая стратегия России на период до 2030 г.», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. №1715-р.

- «Энергетическая стратегия Томской области на период до 2020 года».

- «Декларация о намерениях инвестирования в строительство энергоблоков №1 и №2 Северской АЭС».

В марте 2009 г. по материалам обоснования инвестиций в строительство и оценки воздействия на окружающую среду Северской АЭС были успешно проведены общественные слушания в Томске и Северске.

В то же время они показали, что бытующее в обществе представление об атомной энергии по-прежнему окутано мифами и страхами, которые абсолютно не соответствуют фактическому положению дел и, в основном, опираются исключительно на чувства и эмоции.

В том случае, когда голосованием предлагается решать вопросы об опасности там, где действуют законы природы (по терминологии В.И. Вернадского, когда «общественное мнение» опережает «общественное понимание»), происходит преувеличение экологической опасности.

Поэтому одна из важнейших задач, стоящая в настоящее время перед учеными, – достижение «общественного понимания» экологических проблем, в том числе

атомной энергетики.

Проблема признания обществом этого способа производства энергии и доверия к атомщикам на стадии обсуждения, строительства и дальнейшего функционирования выходит на первый план.

В Томской области планируется построить двухблочную АЭС с реакторами ВВЭР-1150 суммарной мощностью 2300 МВт.

Проект Северской АЭС будет разрабатываться на основании базового проекта АЭС-2006, и явится усовершенствованным вариантом существующих и строящихся атомных станций [7, 9, 10, 13].

В основу концепции АЭС-2006 положены технические решения проектов АЭС повышенной безопасности с ВВЭР-1000 в Китае и Индии и улучшенные технико-экономические характеристики. Кроме того, в проекте учтены решения, принятые по АЭС-92 и АЭС с ВВЭР-640, в полной мере учтен опыт эксплуатации действующих энергоблоков ВВЭР-1000 (В-320), а также рекомендации миссий МАГАТЭ.

С целью повышения уровня ядерной, радиационной, технической и экологической безопасности АЭС-2006 приняты следующие основные решения:

- реакторная установка ВВЭР-1200 повышенной безопасности со сроком службы корпуса реактора и парогенератора 60 лет;
- комплекс систем безопасности, в состав которого входят активные и пассивные системы (элементы), а также средства по управлению тяжелыми запроектными авариями;
- современные технологии обращения с радиоактивными отходами с использованием системы глубокого выпаривания жидких радиоактивных отходов, ионо-селективной обработки с последующим цементированием остатка; использование технологий измельчения и прессования при обработке твердых радиоактивных отходов, что позволит в несколько раз уменьшить их объемы;
- башенные градирни с целью оптимизации водных ресурсов для систем технического водоснабжения;
- широкое внедрение диагностических систем для оборудования и трубопроводов.

Принципиальная схема энергоблока включает в себя реакторную установку с комплексом систем нормальной эксплуатации и систем безопасности, а также турбоустановку со вспомогательными системами турбинного отделения. Каждый из двух энергоблоков АЭС имеет собственные вспомогательные системы, включая системы спецводоочистки и переработки отходов. Общеблочные системы предусматриваются только для выполнения вспомогательных функций, прямо не связан-

Таблица 2

**Основные различия между проектом реакторного энергоблока «АЭС-2006» и действующими реакторами ВВЭР-1000**

Характеристика	АЭС с ВВЭР-1000	АЭС-2006
Мощность электрическая, МВт	1 000	1 150
Годовая выработка, млрд. кВт·ч	7,5	9,5
Проектный срок службы, лет	30	50
Удельная материалоемкость, отн. ед.	1,00	0,85
Удельные капиталовложения, отн. ед.	1,00	0,80
Объем ОЯТ (в форме ТВС), т/млрд. кВт·ч	5,5	3,5

ных с технологическими процессами выработки электроэнергии и обеспечением безопасности.

Реакторная установка включает в себя реактор и четыре циркуляционных петли, в состав каждой из которых входят циркуляционные трубопроводы, главные циркуляционные насосы и горизонтальные парогенераторы. Номинальное давление теплоносителя первого контура на выходе из активной зоны 16,2 МПа, температура горячего теплоносителя (на выходе из реактора) 329,7°C, давление острого пара 7,0 МПа.

Турбоустановка оснащается пятью питательными насосами; генератор – полностью с водяным охлаждением.

Компоновка моноблока, содержащая в себе здание реактора с двойной оболочкой, машинный зал, здания систем безопасности и вспомогательных систем обеспечивают минимальную протяженность коммуникаций и высокую надежность нормальной эксплуатации, а также функций безопасности.

В проекте реализована четырехканальная схема систем безопасности. Данная структура, построенная на активных элементах, обеспечивает преодоление любых проектных аварий и приведение реакторной установки к безопасному состоянию с учетом зависимого отказа канала и независимого отказа любого активного элемента или ошибки оператора в другом канале. При этом один канал безопасности всегда может быть выведен в ремонт на длительный срок.

В результате строительства атомной станции Томская область получит

- демонполизацию и диверсификацию энергетического производства;
- увеличение инвестиционной привлекательности региона за счет гарантированного энергоснабжения на 50 лет вперед, таким образом, будет обеспечена энергетическая безопасность;
- увеличение валового регионального продукта на 13,7 млрд. рублей в год;
- прямые инвестиции в экономику региона более 200 млрд. рублей;
- дополнительные поступления в бюджеты всех уровней
  - за время строительства около 9,0 млрд. рублей,
  - за год эксплуатации двух блоков более 6,5 млрд. рублей;
- создание новых рабочих мест:
  - при строительстве – до 8 000 в пиковый период,
  - непосредственно на АЭС – 1 150,
  - в сфере обслуживания – до 10 000;
- снижение экологического и экономического прессинга на регион;
- выделяемые лимиты газа не сжигать, а направить на Томский нефтехимический комплекс;
- стабильность в поставке ядерного топлива;
- экономию углеводородного топлива;
- возможность возведения инфраструктурных объектов совместного использования с АЭС – дорог, жилья, объектов социального назначения;
- крупно-масштабное развитие строительно-монтажного комплекса;
- более 75% электроэнергии, произведенной на Северной АЭС, будет потребляться на территории Томской области;
- почти 2 млн. Гкал тепловой энергии для нужд ЗАТО Северск.

Оценим последствия гипотетической ситуации, при которой энергоблоки электрической мощностью 2300 МВт использовали бы в качестве топлива уголь, газ или другие альтернативные источники[5, 7, 11, 12, 15–19, 21].

**ТЭЦ на угле.** Результаты оценочных расчетов показали, что в год при работе ТЭС на угле

- понадобилось бы добыть, перевезти и сжечь более 7 млн. т угля (добыча этого количества угля приводит к смерти в среднем более 28 шахтеров и получению 140 травм); железная дорога вряд ли справится с такой нагрузкой (160 тыс. вагонов в год, 420 вагонов в сутки); среднемировая цена на уголь 150–250 \$/т.

- при покупке угля по цене 1300 рублей за тонну в Томске, топливная составляющая будет более 9 млрд. рублей (с учетом динамики внутрироссийских цен на уголь к 2020 г. топливная составляющая увеличится в три раза и составит 27 млрд. рублей);

- в окружающую среду поступило бы более 8,7 млн. т CO<sub>2</sub>, 70 тыс. т оксидов серы, 80 тыс. т оксидов азота;

- накопилось бы 1,6 млн. т твердых отходов (зола и шлак), причем летучая зола составила бы 50 тыс. т;

- объем потребленного кислорода составил бы  $12 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год;

- золошлаковые отвалы содержали бы также естественные радионуклиды (калий-40, уран-238, радий-226, свинец-210, полоний-210);

- золошлаковые отвалы содержали бы токсичные элементы (мышьяк – 120 т, ртути – до 40 т, ванадия – до 160 т и др.).

**ТЭЦ на газе.** При всех достоинствах газа нельзя забывать, что с его использованием связано очень много проблем, возникающих при добыче, транспортировке и конечном потреблении. Кроме того, Томская область все еще пользуется «чужим» газом и в смысле запасов органического сырья является неперспективной (газа хватит на 35 лет, нефти – на 20 лет).

В Сибири, где концентрация трубопроводов достаточна велика, ежегодно происходят тысячи аварий трубопроводов. Финансовые потери от утечек нефти и газа оцениваются в 200–270 млн. долларов ежегодно.

В случае использования газа в качестве топлива

- понадобилось бы добыть, транспортировать и сжечь ~ 6 млрд. м<sup>3</sup>/год;

- топливная составляющая ~ 12 млрд. руб;

- потребление кислорода ~  $9 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год;

- в окружающую среду поступили бы 5 млн.т CO<sub>2</sub>, оксидов азота ~ 53 млн.т/год.

**АЭС.** По результатам оценочных расчетов

- потребление топлива – 70 т/год (UO<sub>2</sub> – 4,5 % обогащение по U-235); затраты на топливообеспечение 0,6–1,2 млрд. руб;

- стоимость сооружения 134 млрд. руб;

- потребление кислорода отсутствует, выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> нет;

- твердые отходы, ОЯТ (высокоактивные отходы) 70 т/год, средне- и низкоактивные отходы < 1800 т/год, радиационный фон АЭС в 1 000 раз меньше естественного фона и в пять раз меньше радиационного фона от ТЭЦ на угле.

Вероятность аварии с расплавлением активной зоны  $10^{-6}$  в год, что сравнимо со смертью человека в результате падения метеорита, вероятность выброса радиоактивных веществ за пределы АЭС –  $10^{-7}$  в год. Для сравнения: риск смерти в результате старения и различных заболеваний –  $10^{-2}$  в год, риск в результате курения и вождения автомобиля –  $10^{-3}$  в год.

На сегодня ситуация такова, что проживание вблизи нормально работающей атомной станции – это риск, равный не более  $10^{-6}$  год, т.е. несколько сотых долей (2–3%) радиационного риска облучения естественными источниками излучения. Заметные и даже много большие значения риска вызывает использование в промышленности, сельском хозяйстве и для других целей ряда химических соединений.

Таким образом, у населения нет никаких оснований для опасения пострадать от радиационных воздействий нормально работающей АЭС.



Отметим одно из важных преимуществ АЭС перед обычными тепловыми станциями – малая чувствительность к изменению цены топлива. Увеличение стоимости ядерного топлива в два раза приведет к росту цены на электроэнергию на 9%, тогда как аналогичные изменения для угля приведут к удорожанию электроэнергии на 31%, а для газа – на 66%.

В России себестоимость производства электричества на атомных станциях ниже, чем на теплоэлектростанциях (уголь, газ, мазут). В 2010 г. в связи со значительным ростом стоимости газа и нефти реальная стоимость атомной энергии может оказаться примерно вдвое меньше. Стоит также отметить, что у АЭС, в сравнении с ТЭС, в цене киловатт-часа весьма мала топливная составляющая (18–25% против 45% у угольных ТЭС и 65% – у газовых). Но при этом стоимость сооруже-

Таблица 3

**Сравнение технико-экономических и экологических показателей ТЭС и АЭС электрической мощностью 2300 МВт**

Показатель	ТЭС	АЭС
Затраты на обеспечение топливом, млрд. руб.	9,0	0,6–1,2
Стоимость сооружения, млрд. руб.	58–92	120–140
Средний тариф на шинах (затраты на производство) коп./кВт·ч	36,3	19,2
Продолжительность строительства, годы	3–5	4–6
Потребление топлива, т/год	$7 \cdot 10^6$	70 т (460 т природного урана)
Трудоемкость энергопроизводства, чел./ГВт·год	1016	878
Затраты топливные/эксплуатационные /капитальные, %	40/20/40	10/20/70
Потребление атмосферного кислорода, м <sup>3</sup> /год	$1,2 \cdot 10^{10}$	–
Твердые отходы, т/год (м <sup>3</sup> /год)	1 600 000 (1 000 000)	Средне- и низкоактивные < 1 800 (300) отработанное ядерное топливо (высокоактивные) 70 (5,8)
Выбросы в атмосферу, т/год		
CO <sub>2</sub>	18 700 000	–
SO <sub>2</sub>	70 000	–
NO <sub>x</sub>	80 000	–
Зола	60 000	–
C <sup>14</sup> (ПДА, Бк/м <sup>3</sup> )		$17,2 \cdot 10^{-7}$ ( $1,1 \cdot 10^2$ )
T <sup>3</sup> (ПДА, Бк/м <sup>3</sup> )		$20,6 \cdot 10^{-6}$ ( $7,6 \cdot 10^3$ )
Число случаев преждевременной смерти	0,13 (828 <sup>*</sup> )	0,25
Потеря трудоспособности, чел. лет	3,2 (16 500 <sup>*</sup> )	5,0
Сокращение продолжительности жизни, чел. лет	5 ( $2 \cdot 10^{4*}$ )	7,6
Коллективная доза облучения населения, чел. Зв/ГВт год	4	0,4–1,8
Средняя величина внешних затрат, цент/кВт·ч	4,7–7,3	0,4

\* Заболевания нерадикационной этиологии.

\*\* Активность поступающих в биосферу отходов от АЭС зависит от учета категории радионуклидов. Например, активность газов в случае выдержки их в газгольдере перед выбросом их в атмосферу уменьшается за счет распада короткоживущих радионуклидов.

ния АЭС выше, и строятся они дольше, чем ТЭС равной мощности, поэтому срок окупаемости начальных инвестиций для АЭС больше [23].

Если окупаемость угольных и газовых станций составляет 7–8 лет, то окупаемость АЭС – 12–15, а иногда доходит и до 20-ти лет [24].

Сегодня стоимость строительства АЭС в России в два раза выше, чем в Китае и на 30–40 % выше, чем в Европе.

Так, сооружение двух энергоблоков ЛАЭС-2, которые планируется ввести в строй в конце 2013 и 2016 гг. соответственно составит 180 млрд. рублей. Срок окупаемости энергоблоков оценивается в 15–17 лет [25].

Не следует забывать, что проектируемый срок эксплуатации у ТЭС не превышает 25-ти лет, у АЭС – 60-ти лет.

При существующей тенденции опережающего роста тарифа на электро- и теплоэнергии по отношению к стоимости оборудования и строй монтажных работ прогнозируемый срок окупаемости будет меньше [10].

Отметим еще один важный социальный фактор: работа АЭС позволит сохранить жизнь примерно 800 человек в год на всех этапах угольного топливного цикла. За 60 лет работы это почти 50 000 жизней.

Рассмотрим возможность использования некоторых альтернативных источников для крупномасштабного производства энергии вместо ядерного энергоисточника электрической мощностью 2300 МВт в Томской области.

Томская область занимает площадь 316,9 тыс. км<sup>2</sup> (2% площади РФ, 50% Франции, 88% Японии, 88% Германии, 130% Великобритании). Более 60% территории области занимают леса.

Климат территории Томской области континентально-циклонический характеризуется значительной сезонной изменчивостью притока солнечной радиации. Среднегодовая температура воздуха отрицательная: от –0,5 до –3,5°С. Средние годовые скорости ветра по области – 3–4 м/с. Средняя заболоченность территории составляет 40–50%. Площадь Большого Васюганского болота более 55 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет около 2% общей площади болот всего мира. Сельскохозяйственные угодья занимают 1373 тыс. га, из них пашня ~ 680 тыс. га. Продолжительность солнечного сияния 1958 часов в год. Согласно многолетним наблюдениям, солнце полностью закрыто облаками от 66 до 83 дней в году. Максимальный приход солнечной радиации при средней прозрачности атмосферы 5397 МДж/м<sup>2</sup> в год (Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1998).

**Биомасса.** Для того, чтобы произвести из навоза биогаз для выработки 2300 МВт электрической энергии требуется площади примерно 200 км<sup>2</sup>, на которых должны размещаться 160 млн. свиней или 1600 млн. птиц. Для Томской области – это 3% угодьев, занимаемой пашней. При использовании в качестве источника энергии древесины потребуется ежегодно примерно 10 млн. т дров (~13 млн. м<sup>3</sup>), 500 ж/д вагонов в сутки. По данным департамента развития предпринимательства и реального сектора экономики администрации Томской области за девять месяцев 2008 г. было заготовлено 1 206 000 м<sup>3</sup> древесины.

**Солнце (СЭС).** Занимаемая площадь солнечными радиаторами (при к.п.д. ~ 10%) ~ 250 км<sup>2</sup> (~ 5% площади с/х угодий, занимаемых пашней). Необходимо предусмотреть регулярную очистку 250 км<sup>2</sup> от пыли и зимой от снега, что весьма проблематично. Снежный покров обычно формируется в конце октября и полностью сходит в конце апреля. Толщина варьируется от 55 до 170 см и держится 165–185 дней. Количество осадков ~ 600 мм в год. Напомним, продолжительность солнечного сияния более чем в четыре раза меньше числа часов в году. Себестоимость электроэнергии увеличится в 20 и более раз, по сравнению с АЭС. Необходимо



предусмотреть сооружение полигона ядовитых веществ, содержащихся в фотоэлементах (свинец, кадмий, мышьяк и т.д.).

**Ветер (ВЭС).** Занимаемая площадь ~500 км<sup>2</sup> (~10% площади пашни). Средняя скорость ветра только 3–4 м/с. При ветровой турбине средней мощности 800 кВт для производства 14 млрд. кВт·ч в год (мощность 2300 МВт) потребуется более 1 млн турбин. Себестоимость электроэнергии в пять и более раз выше, чем на АЭС. Возникают серьезные проблемы с радио, телесвязью, животным миром, и психическим состоянием людей. Одна из основных проблем, связанная с использованием энергии ветра, заключается в колебаниях скоростей и, следовательно, выработки электроэнергии, а также в недостаточной изученности экологических и других негативных последствий создания ветроэнергетических установок (ВЭУ).

### ВЫВОДЫ

Введение в действие энергетических мощностей является жизненно важной задачей для Томской области. Другого варианта кроме строительства АЭС нет. Ведь уже к 2015 г. необходимо увеличить энергомощности до 2000 МВт.

Такие масштабные проекты, как создание особой экономической зоны в Томске, освоение нефтяных и газовых месторождений на правобережье р. Оби, разработка Бакcharского железорудного месторождения, строительство автомобильных и железнодорожных магистралей, динамичное развитие лесопереработки, интеллектуального, научно-образовательного комплекса, наукоемкого, высокотехнологического бизнеса – могут не состояться из-за нехватки энергии.

Выполнение этих проектов позволит добиться высоких экономических показателей и обеспечит качественно новый, более высокий уровень жизни населения.

### Литература

1. *Коньшев И.В.* Мировой атомный ренессанс. Сибирская проекция/ Научно-практическая конференция «Работа с общественным мнением в атомной энергетике». – Томск, 2008.
2. *Бойко В.И., Кошелев Ф.П.* Ядерные технологии в различных сферах человеческой деятельности: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006.
3. *Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Пшакин Г.М., Селиваникова О.В.* Ядерные технологии и вызовы XXI века: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009.
4. Бюллетень МАГАТЭ. – 1999. – Т. 41. № 1.
5. Справочник по ядерной энерготехнологии. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. *Мещеряков В.Н., Бойко В.И., Кошелев Ф.П.* Ядерная энергетика в системе энергообеспечения города Томска// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2000. – № 1.
7. *Адамов Е.О.* Белая книга ядерной энергетики. – М.: Изд-во ГУП НИКИ-ЭТ, 1998.
8. Состояние окружающей среды Томской области. Экологический мониторинг. – Томск, 2006.
9. *Афров А.М., Андрушечко С.А. и др.* ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность. – М: Университетская книга, Логос, 2006.
10. *Шидловский В.В., Мещеряков В.Н., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В., Демянчук Д.Г.* Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009.
11. Россия в цифрах. – М., 2000, 2003.
12. Машиностроение ядерной техники. Энциклопедия в 40 тт. – М.: Машиностроение, 2005.
13. Проект АЭС-2006 – путь к решению энергетических проблем России// Бюллетень по атомной энергетике. – 2007. – № 2.
14. *Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Селиваникова О.В.* Глобальные и региональные аргументы в пользу атомной энергии// Бюллетень по атомной энергетике. – 2008. – № 5-6.
15. *Кошелев Ф.П., Данейкин Ю.В.* Экологический анализ риска в угольном и ядерном топливных циклах (обзор)// Ядерный топливный цикл. – 2006. – № 2.

16. Петухов А.В. Эколого-экономическая безопасность атомной энергетики//Энергия, экология. – 1998. – № 2.
17. Кривит В., Фридрих Р. Сравнение риска от различных источников электроэнергии//Атомная техника зарубежом, – №5, – 1998.
18. Шевелев Я.В., Клименко А.В. Эффективная экономика ядерного-топливного энергетического комплекса. – М.: РГТУ, 1996.
19. Бюллетень МАГАТЭ. – 2000. – Т.42. – № 2.
20. Индекс безопасности. – 2008. – Т.14. – № 2.
21. Сравнение рисков для здоровья населения, окружающей среды от атомной энергии и других видов производства энергии.
22. [nur://www.ices.ru/printriski/resultprint.ntm](http://www.ices.ru/printriski/resultprint.ntm).
23. <http://business.rin.ru/cgi-bin/news.pl?r=&a=f&i=256403>.
24. <http://www.finmarket.ru/z/nws/news.asp?id=1512424>.

Поступила в редакцию 21.05.2010

**УДК 621.039.51**

*Enhancement TRU Proliferation Resistans through Gamma Buildup from Rare Earths* \A.I. Dyachenko, V.V. Artisyuk, S.N. Filimonov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 9 pages, 3 tables, 5 illustrations. – References, 15 titles.

his paper deals with analysis of radiation barriers to reduce the attractiveness of transuranic materials from the view of nonproliferation. The barrier is formed by doping of rare earth gamma emitters. The selection of appropriate rare earth nuclides was the main focus of the present paper. The quantitative requirements for the presence of rare earth nuclide impurities to form barriers formulated, taking into account the existing criteria for evaluating security.

**УДК 621.039.543.6**

*Comparative Analysis of Fission Materials for Uranium-Plutonium and Thorium-Uranium Cycles on Nonproliferation Criteria* \V.V. Korobeynikov, B.B. Tikhomirov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 10 tables, 3 illustrations. – References, 15 titles.

The approaches to estimation of relative attractiveness of materials on the base of uranium-233 in thorium cycle with proliferation risk point of view are studied. Preliminary assessment of relative attractiveness for uranium-233 on the base approach developed for plutonium fuel was executed. It was shown that attractiveness depends from uranium-232 content and time of cooling very strong. Findings were compared with analogue characters of materials using in uranium-plutonium fuel cycle.

**УДК 621.039.1**

*Prospectives of Nuclear Industry Development in Siberia. Ecology, Safety, Economics* \V.I. Boyko, F.P. Koshelev, G.M. Pshakin, O.V. Selivanikova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 3 tables. – References, 24 titles.

Rosatom projects for Krasnoyarsk, Tomsk and Irkutsk regions are briefly analyzed. Special attention is paid to construction of Seversk NPP in Tomsk region. Necessity and principles for construction of NPP are argument. Estimations of severe accident consequences alternative (using coal, natural gas or other type of fuel) electricity production plant same capacity (2300 MWe) were done.

**УДК 621.039.534.63**

*Modelling of Mass Transfer of Corrosion Products in the Circuit of NPP with Sodium Coolant* \V.V. Alexeev, A.S. Kondratiev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 10 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 9 titles.

The article describes the process model of mass transfer of impurities according to their chemical interactions in the system sodium – structural material – impurity. The data for the primary circuit of reactor BN-600, both for the nominal mode, and for the cases of a hypothetical accident with increasing facility parameters. The data obtained can be used to perform the safety analysis of facility.

**УДК 621.039.58:536.423**

*Calculation and Experimental Study of Noncondensable Gases Influence on the Operation of VVER Steam Generator Model in Condensation Mode in the Event of the Beyond Design Basis Accident* \A.A. Zaytsev, D.S. Kalyakin, A.A. Lukyanov, A.V. Morozov, T.V. Popova, O.V. Remizov, O.V. Supotnitskaya, A.A. Tsyganok; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2010. – 11 pages, 9 illustrations. – References, 5 titles.

The results of calculation and experimental study of the influence of noncondensable gases on the operation of VVER steam generator model in condensation mode are presented. The experiments have been performed at the GE2M-PG large-scale facility under conditions of natural circulation of the first and second circuits for the vapor pressure of the first circuit 0.36 – 0.38 MPa. Numerical simulation of the experiments was conducted using the computer code KUPOL-M. As a result of work the experimentally determined the effect of noncondensable gases on the condensation power of the steam generator model and found that the computer code KUPOL-M satisfactorily simulates the process under investigation.