

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ»
(СЗАГС)

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио ректора

_____ А.С.Тургаев

« ____ » апреля 2007г.

ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе
по теме:

**«ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ПРОБЛЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА
СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО СООБЩЕСТВА»**

шифр «Предупреждение – 2007»
(промежуточный)

**Этап 1. Проблемы обеспечения энергетической безопасности
на современном этапе.**

Научный руководитель:
директор Центра исследования проблем
устойчивого развития региональных систем,
д.т.н., профессор,
Заслуженный деятель науки РФ

_____ Б.П.Ивченко

Ответственный исполнитель:
главный специалист, к.т.н.

_____ И.Н.Малышев

Санкт-Петербург
2007

РЕФЕРАТ

Отчет содержит 48 страниц, 4 таблицы, 11 источников.

Перечень ключевых слов: энергетическая безопасность, планетарные проблемы, экология, углеводородные источники энергии, ядерная энергетика, технико-экономические показатели.

Рассмотрены проблемы энергетической безопасности на современном этапе развития человечества. Показано влияние глобальных демографических процессов на интенсификацию техногенного воздействия на биосферу Земли.

В связи с ограниченностью в планетарном масштабе природных ресурсов традиционных источников энергии, в качестве единственного альтернативного традиционному пути решение энергетической проблемы на ближайшее будущее, рассмотрено состояние и перспективы развития ядерной энергетики. Отмечены проблемы, стоящие на пути создания крупномасштабной ядерной энергетики XXI века.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Анализ тенденций в развитии угроз Человечеству, обусловленных глобальными демографическими процессами.....	6
2. Состояние и перспективы развития энерговооруженности мирового сообщества на основе традиционных источников энергии.....	18
2.1 Топливо-энергетический комплекс на основе углеводородных источников.....	19
2.2 Безуглеродные технологии получения энергии.....	23
3. Ядерная энергетика в структуре мирового энергетического производства.....	26
3.1 Техничко-экономические показатели ядерной энергетики в сравнении с традиционными источниками.....	26
3.2 Особенности ресурсобеспечения ядерной энергетики.....	28
3.3 Ядерные реакторы, состояние и перспективы.....	31
3.4 Основные проблемы современной ядерной энергетики.....	33
3.5 Перспективы развития ядерной энергетики.....	34
3.5.1 Реакторы на быстрых нейтронах.....	34
3.5.2 Ториевая энергетика.....	36
3.5.3 Электроядерные системы.....	
3.6 Роль ядерной энергетики в неэлектрических секторах энергопотребления.....	40
3.7 Проблема термоядерного синтеза.....	42
3.8 Основные этапы развития ядерной энергетики в XXI веке.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	46
Список использованных источников.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Эпоха развития Человеческой цивилизации на современном этапе характеризуется быстрыми по сути революционными изменениями в ее содержании. Интенсивное, фактически взрывное в историческом масштабе развитие науки и техники во второй половине 20-го века стимулировало радикальные изменения практически во всех сферах человеческой деятельности. Современная человеческая цивилизация на рубеже третьего тысячелетия во всей полноте приобрела черты техногенной цивилизации.

Данное обстоятельство послужило источником многих проблем планетарного характера. Эти проблемы касаются всего Человечества в целом, поскольку затрагивают взаимоотношения мирового сообщества с природой, со средой обитания. К их числу в первую очередь можно отнести экологическую, демографическую, экономическую, энергетическую, информационную и ряд других проблем. Очень важно отметить, что все они тесно взаимосвязаны. Обеспечение безопасного устойчивого развития человеческой цивилизации немыслимо без решения всей совокупности этих проблем. Вместе с тем, ряд проблем имеет явно приоритетное значение, поскольку они влияют на сохранение жизни на Земле уже в ближайшем будущем.

К числу таких планетарных проблем, требующих скорейшего разрешения, относится энергетическая проблема.

Стремительное истощение на Земле природных ресурсов, в первую очередь, запасов нефти, газа, угля, делящихся веществ и некоторых других, а также сложность и неготовность современных технологий управлять и полезно использовать естественные высокомоощные потоки энергии с одной стороны – ставят Человечество перед необходимостью жесткой экономии сырья, энергии, поиска новых энегосберегающих технологий; с другой – инициирует в современной цивилизации внутренние противоречия, способные привести к антагонистическому противостоянию отдельных государств и народов в борьбе за перераспределение энергетического потенциала и, в конечном счете, к борьбе за выживание на Земле. Каковы Истоки энергетической проблемы,

стоящей перед Человечеством в настоящее время, и каковы пути обеспечения энергетической безопасности устойчивого планетарного развития? Попробуем найти ответ на эти вопросы с позиции диалектического анализа современной действительности.

I. АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗВИТИИ УГРОЗ ЧЕЛОВЕЧЕСТВУ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ГЛОБАЛЬНЫМИ ДЕМОГРАФИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Комплексное рассмотрение причин и истоков планетарных опасностей убеждает нас, что главная причина – это растущее ускоренными темпами численность населения Земли. Именно это обстоятельство вызывает напряженность в экологической, энергетической и продовольственной сферах.

12 декабря 1999 года Человечество перешагнуло через шестимиллиардный рубеж. В среднем численность Земли возрастает ежегодно на 86 миллионов человек, что соизмеримо с величиной населения Германии. Наиболее быстрыми темпами растет население Африки (4% в год). В Европе население увеличивается медленно (0,5% в год).

Главной причиной ускоренного роста численности населения является генетически присущая боязнь депопуляции и потери конкурентоспособности нации или государства в случае сокращения населения. Особенно этот механизм присущ народам Африки и Азии. Демографической опасности способствуют успехи медицины, обеспечившей снижение детской смертности и увеличение продолжительности жизни, обуславливающее тем самым процесс старения Человечества.

Демографический взрыв вызывает усиление нагрузки на биосферу Земли. В доиндустриальную эпоху общая антропогенная доля потребления продукции биосферы не превышала 1%. Современная доля на порядок выше этого значения.

Ускоренными темпами происходит вырубка лесов (ежегодная потеря тропических лесов составляет около 7,5 млн. га), опустынивание земли (до 35% суши находится под угрозой опустынивания).

Самый быстрый прирост населения наблюдается в Африке и на Ближнем Востоке. Земля, на которой проживают эти народы, имеет ограниченное плодородие и не в состоянии прокормить быстро растущее население.

Возникает продовольственная проблема. Этими причинами отчасти объясняется и интенсивная миграция чернокожего населения и арабов в развитые страны.

Постоянный рост населения и потребления побуждает к интенсивному развитию промышленного производства. Так, за период с 1950 по 1998 годы глобальный валовой продукт увеличился в 7 раз, а уровень потребления энергоресурсов в 4 раза. В настоящее время ежегодное потребление невозполнимых энергоресурсов превышает то их количество, на создание которого природе потребовалось миллионы лет.

Современная энергетика более чем на 90% основана на использовании невозобновляемых природных ресурсов с истощением их месторождений. По оценкам специалистов залежей нефти и газа при существующих их темпах потребления хватит лишь на 50–70 лет, а каменного угля – примерно на 300 лет. Вместе с тем, растущее население Земли и развитие цивилизации требует дальнейшего увеличения производства энергии, которое, включая нефть, газ, угольную и гидроэнергию еще в 1988 году уже достигла $340 \text{ тыс. } 10^{15} \text{ Дж}$. Само управление такими большими энергетическими потоками представляет значительную опасность.

По мере сокращения запасов энергоресурсов обостряется и проблема их распределения, и соответственно, отношения между странами-производителями и странами-импортерами нефти, газа и других энергоносителей. Аналогичная ситуация складывается в области производства и потребления других полезных ископаемых и продуктов.

К 1994 г. на один миллиард населения богатых стран («золотой» миллиард) приходилось 70% мирового совокупного общественного продукта, а на остальную часть населения Земли – 30%. Один житель развитых стран потребляет за свою жизнь в среднем в 20...30 раз больше ресурсов планеты, чем житель бедных стран. Несмотря на это развивающиеся страны тратят на закупку вооружений в десятки раз больше, чем на социальные нужды, лелея мечту о силовом переделе мира и материальных благ. Учитывая, что к 2025

году в развивающихся странах будет проживать 85% населения планеты, эти страны представляются наиболее вероятными источниками опасностей и угроз.

Ускоренные темпы роста производственной сферы, призванной обслуживать увеличивающуюся человеческую массу Земли сопровождаются усилением негативного ее влияния на биосферу. Техногенное воздействие Человека на литосферу, гидросферу, атмосферу приводит к крупномасштабным изменениям в природной среде, активизирует развитие в ней ряда опасных процессов, служит появлению новых техноприродных процессов и явлений.

Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 145 миллионов тонн двуокиси серы, 250 миллионов тон пыли и т.д. За последнее столетие концентрация двуокиси углерода в атмосфере повысилась примерно на 15%, а к середине 21-го века может вызвать таяние снегов, ледников и затопление значительной части суши.

Загрязнение почвы и воздуха приводит к тому, что к 2010-2015 гг. Земля может потерять до 15-20% населяющих ее видов. / 1 /

В Мировой океан ежегодно попадает до 10 миллионов тонн нефтепродуктов, а количество радиоактивных соединений даже не поддается учету.

Насыщенность в результате научно-технического процесса сферы производства и сферы услуг сверхсовременной техникой, сложнейшими системами контроля и автоматики способствует резкому увеличению вероятности возникновения серьезных аварий и катастроф, вследствие технических неполадок или человеческих ошибок. Масштаб крупных технических катастроф уже вполне соизмерим с чрезвычайными ситуациями военного времени.

Анализируя современное состояние развития человеческой цивилизации можно констатировать, что неконтролируемый в планетарном масштабе рост техногенного антропогенного воздействия на экосистемы является главной угрозой ее дальнейшего существования. Помимо этого, нарушая своей хозяйственной деятельностью устойчивость окружающей среды, человек тем

самым снижает также предсказуемость опасных природных явлений, увеличивая частоту, силу и размеры стихийных бедствий.

Сложный, динамический окружающий нас современный мир с его внутренними противоречиями порой спонтанно проявляющимися в различных сферах (общественной, морально-нравственной и др.) человеческого социума вызывает у интеллектуальной его части серьезное беспокойство за наше теперешнее состояние и будущее. В попытках понять закономерности и сути движения современного мира, привлечение исторического опыта предыдущих поколений в силу определенного консерватизма в человеческом восприятии действительности оказывается малопригодным. Требуются новые взгляды, основанные на глубоком понимании внутренних закономерностей развития с использованием современных физико-математических методов исследования и не связанные с традиционными представлениями и идеологическими догмами.

В этом отношении интересны некоторые результаты исследований, выполненных в США, где была предпринята попытка моделирования мировой системы, рассматриваемой как единое целое. Были «проиграны» альтернативные варианты ее «поведения», различные соотношения между совокупностью переменных – рост населения Земли, объем промышленного производства, развитие аграрного сектора, динамика использования природных ресурсов, темпы загрязнения природной среды.

В результате исследований был сделан вывод о неизбежности к середине 21 века планетарного кризиса. / 2 /

Модель зафиксировала реальность физических пределов мировой системы, что вполне логично связывается с одной стороны, с численностью населения, характером и масштабами производственно-хозяйственной и социокультурной деятельности человека, а с другой – со сравнительно ограниченной производительностью биосферы, тенденцией к насыщению её «емкостей». / 2 /

Какова же может быть альтернатива столь пессимистической перспективе человечества, и пути реализации устойчивого гармонического его развития на

далекое будущее?

Одно из предложений решения рассматриваемой проблемы, к которому приходит ряд ученых, является сокращение численности Земли.

Существуют оценки, показывающие целесообразность сокращения численности людей в 10 раз, что может, по их мнению, быть достигнуто примерно за столетие после принятия, повсеместно, законов о разрешении иметь только одного ребенка. / 3 /

В целом, осознание необходимости перехода от безответственной демографической политики к политике саморегулирования человечеством своей численности следует признать вполне объективным и назревшим фактором. Однако, такой подход без соответствующей дифференциации выглядит абсурдно, поскольку может существенно ущемлять интересы отдельных народов и государств.

Применительно к условиям России этот подход противоречит ее национальным интересам, учитывая большие территории, богатства недр, запасы пресной воды и темпы сокращения численности населения, особенно государствообразующей русской нации.

По прогнозам ООН численность населения России может сократиться к 2050 году до 108 млн. человек, при увеличении численность народов Земли к этому сроку до 9 млрд. человек.

Таким образом, выработка справедливой, научно-обоснованной демографической политики является одной из главнейших планетарных задач, стоящих перед человечеством и от её рационального решения во многом зависит будущность человеческой цивилизации на Земле.

Если этого не произойдет, то выводы, к которым пришли американские ученые, и о чем уже шла речь, окажутся весьма близкими к своей реализации.

В современную эпоху нельзя полностью исключать возможность возникновения крупномасштабной (мировой) войны с применением оружия массового поражения. До недавнего времени двухполярный мир, воплощавший противостояние двух супердержав с примерно одинаковым балансом сил обеих

сторон, способных к многократному уничтожению практически всей земной цивилизации в случае возникновения войны, как это ни парадоксально, был гарантией мира на Земле. / 4 /

В современном многополярном мире политика сдерживания распространения оружия массового поражения терпит крах. Растет число стран, обладающих ядерным оружием (расширение так называемого «ядерного клуба»). Мировое сообщество обеспокоено положением в ряде стран, в которых в рамках национальных программ развития ядерной энергетики без участия МАГАТЭ разрабатываются двойные технологии, способные обеспечить этим странам возможность создания ядерного оружия.

Усиленно наращивают свои военно-экономические потенциалы такие страны, входящие в «ядерный клуб», как Китай, Индия, Пакистан, а также некоторые страны Африки и Южной Америки, уже имеющие все возможности создания ядерного или других видов оружия массового поражения (Южная Африка, Бразилия, Аргентина).

Эти устремления развивающихся стран заставляют ведущие ядерные державы интенсифицировать научные исследования и ускорять разработку ядерного оружия нового поколения, а также высокоэффективного неядерного оружия, оружия основанного на новых физических принципах. Одновременно, этими державами разрабатываются системы раннего предупреждения о возможном нападении и системы глобального контроля за действиями других государств в области новых разработок, представляющих потенциальную опасность их военного применения. / 5 /

Особую угрозу мировому сообществу представляет нестабильная внутривнутриполитическая обстановка в ряде развивающихся стран, способная привести к установлению в них диктаторских авторитарных режимов, которые могут взять курс на обладание ядерным или другими видами оружия массового поражения.

Угрозу представляет также поддержка этими режимами экстремистки настроенной части ортодоксального мусульманского мира в его решимости

осуществления ядерного терроризма.

Анализируя эти тенденции можно констатировать, что с прекращением существования двухполярной мировой системы опасность возникновения крупномасштабной войны не уменьшилась. Свидетельством этому служит значительное увеличение числа региональных военных конфликтов, каждый из которых грозит эскалацией в более крупные военные столкновения с привлечением большого количества участвующих государств и угрозой перерастания его в мировой конфликт.

В современную эпоху война, помимо ее традиционной формы силовой борьбы огневыми средствами поражения за обладание физического пространства, осуществления политического и экономического господства над ним приобрела ещё одну не менее важную форму, а именно, информационно-технологическую, начало которой может проявиться задолго до силовой борьбы.

Началом агрессии правомерно считать масштабное и целенаправленное развертывание информационных систем и средств радиоэлектронной борьбы. Следует отметить, что возможность нанесения противнику тяжелого ущерба путем поражения информационного ресурса может рассматриваться как новый способ сдерживания крупномасштабной войны.

Обладание информационными средствами воздействия может явиться условием установления бескровным путем управления всеми политическими, экономическими, военными и другими процессами на Земле. Поэтому характерной чертой на современном этапе становится стремление к единоличному управлению информационными потоками и в этом проявляется еще одна из планетарных угроз Человечеству. Единоличное управление может осуществляться, например, отдельными мировыми узкими финансово-экономическими олигархическими группами, отдельными диктаторскими режимами авторитарных государств, силами конспиративных мировых террористических организаций.

Главным объектом информационно-технологической борьбы становится

непосредственно сам человек, человеческая психика. Прежде всего, информационное воздействие будет состоять в пропаганде, направленной на ликвидацию вдохновляющих идей и уверенности в будущем, ведущей к духовной и нравственной деградации. Пропаганда будет способствовать патологическому возрождению биолого-физиологических наклонностей людей, являющихся наследием ранних этапов развития человека.

В наше время можно наблюдать, как снятие духовно-нравственных, правовых, культурных ограничений приводит к проявлению крайнего индивидуализма, эгоизму, стремлению к обогащению любыми средствами, коррупции, стремлению удовлетворения всех физиологических извращений, и как протестное явление – проявлению экстремизма, терроризма, овладению идеи «войны всех против всех».

Таким образом, целью информационно-технологической борьбы может быть снижение или ликвидация духовно-нравственных, правовых и культурных ограничений, способствующее проявлению первобытных, основанных на насилии, инстинктов человека. В этом заключается основа всех угроз для существования личности, социальных групп, государств и Человечества в целом.

В противостоянии этим угрозам первостепенная роль принадлежит государству, которая должна выражаться, прежде всего, в обуздании диких сил, таящихся в природе человека, в установлении и совершенствовании норм системы социализации общества. Если эти функции государства будут подорваны, то неизбежна деградация всех общественных отношений, разрушение общественного порядка, гибель государства. Недавние исторические аналогии нам всем хорошо известны.

Таким образом, рассматривая современное состояние нашей цивилизации, можно констатировать, что в основе главных угроз ее развитию, носящих планетарный характер, лежит неконтролируемый неравномерный для различных регионов и народов рост численности населения Земли. Рост населения приводит к необходимости роста производственной сферы

(промышленной и сельскохозяйственной), сопровождающейся усилением техногенной нагрузки на биосферу Земли, на протекание естественных планетарных процессов. Такая динамика развития создает предпосылки к многим внутренним противоречиям, касающихся отношений между государствами, группами государств, а также к противоречиям национального, расового характера.

Неравномерность распределения богатств, неравномерность уровней потребления и благосостояния передовых и развивающихся стран, неравномерность их энергообеспечения, антагонистический характер глобальной социальной структуры, на общем фоне неравномерности распределения по отдельным странам и регионам численности населения и темпов его роста обуславливают потенциальную и реальную угрозу возникновения международных конфликтов.

Неизбежное пересечение интересов государств в различных областях международных отношений на фоне рассмотренных проблем, стоящих перед Человечеством и прогнозируемого в ближайшем будущем планетарного кризиса, может спровоцировать крайне ограниченную амбициозно-агрессивную элитарную часть господствующих классов мирового сообщества на установление мирового господства в интересах ее самосохранения, используя научно-технический прогресс, последние достижения передовых отраслей науки (электроника, биология, медицина и др.), разработку новых средств вооруженной борьбы, включая упомянутые информационно-технологические ее виды, в том числе, психотропное оружие.

В этой обстановке проблема выживания Человеческой цивилизации диктует необходимость рассмотрения в качестве высшего интереса международного сообщества сохранение и обеспечение устойчивого развития человеческого общества на основе гуманистического отношения к национальным интересам существующих в настоящее время на Земле народов и государств, их сохранение, справедливых в общечеловеческом понимании рациональных пропорций их численности с учетом конкретных исторических,

геополитических, социально-экономических, психологических и иных жизненно важных условий.

Человечество стоит на пороге формирования нового политического лица планеты. Для каждой страны, каждого государства это эпоха ее испытаний на способность выживания в новых условиях, ее права на суверенитет. Для России отстаивание своей роли на международной арене является главной задачей обеспечения своей национальной безопасности, включающей стремление к защите своих естественных экономических и политических интересов.

В решении задач сохранения и обеспечения устойчивого развития человеческого сообщества важная роль принадлежит различным международным организациям, которых к настоящему времени насчитывается около 2,5 тысяч. Приоритетная роль принадлежит наиболее массовой международной организации – Организации Объединенных Наций, членами которой стали практически все суверенные государства.

Весьма существенную роль в мире играет военно-политический союз НАТО и Европейский союз. Авторитетными международными организациями являются также организация африканского единства – ОАЕ, организация американских государств – ОАГ, ассоциация государств Юго-Восточной Азии – АСЕАН и др.

Существование этих международных организаций во многом способствует тому, что человечество решает и способно решать многие вопросы путем договоренностей с учетом интересов многих сторон, не доводя возникающие противоречия до серьезных военных столкновений.

Именно в рамках этих авторитетных международных организаций человечество способно подойти к всестороннему комплексному рассмотрению основных планетарных проблем, научному их осмысливанию и поиску путей их решения.

Как уже отмечалось, практически решение планетарных проблем, стоящих перед человечеством, упирается в ограниченные естественные возможности ноосферы Земли.

Решение планетарных проблем, в конечном счете, зависит от успехов и достижений науки и техники и, прежде всего, успехов фундаментальных наук. Усилия международных организаций могут касаться только вопросов создания условий и финансового обеспечения научных разработок, а также, практического продвижения в мировом сообществе их результатов. Однако, главная роль в решении планетарных проблем человеческой цивилизации принадлежит фундаментальной науке.

Энергетическая проблема, стоящая перед Человечеством, относится именно к таким проблемам, где требуются серьезные прорывы в освоении принципиально новых источников, а также, в совершенствовании уже используемых человечеством.

Анализ современных межгосударственных, межнациональных отношений в мире не оставляет больших надежд на скорейшее решение демографической проблемы, стоящей перед Человечеством.

В целом, Человечество еще не осознало угрозы перенаселения планеты и необходимости рационального регулирования своей численности путем ограничения или даже сокращения прироста в отдельных странах и регионах несмотря на призывы авторитетных международных организаций и понимания необходимости этого решения со стороны прогрессивной интеллектуальной части Человечества.

Можно констатировать, что некоторое ограничение темпов роста численности населения Земли в настоящее время, к сожалению, происходит вследствие природных катастроф (наводнения, землетрясения, цунами и т.п.), техногенной деятельности человека (загрязнение окружающей среды, сокращения запасов чистой питьевой воды, эпидемии и т.п.), а также, за счет военных межгосударственных и межнациональных конфликтов.

Необходимо понимание того факта, что недопущение резкого обострения противоречий между странами, народами, регионами планеты в борьбе за выживание на Земле, предотвращение экологической планетарной катастрофы Человечество должно осуществить уже в ближайшее время в условиях

продолжающегося неконтролируемого роста численности населения.

Единственным выходом из этой ситуации представляется успешное решение энергетической проблемы, поскольку резкое повышение энерговооруженности во всех сферах человеческой деятельности может служить залогом успешного разрешения многих других планетарных проблем, стоящих перед Человечеством.

2. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГОВООРУЖЕННОСТИ МИРОВОГО СООБЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Известно, что энерговооруженность общества является одним из важнейших показателей его экономического развития. В ближайшей перспективе проблема энерговооруженности будет, по-видимому, решаться преимущественно за счет дальнейшего расширения и совершенствования энергетических комплексов, работающих на основных традиционных естественных источниках: нефти, газе, угле.

Существующие запасы этих энергоресурсов, а также еще не разведанные месторождения дают основание для такого вывода, несмотря на все сопряженные с этими видами энергоснабжения, проблемами. Следует отметить, что неопределенные оценки ресурсных и экологических пределов роста традиционной энергетики стимулирует скорее изучение, а не крупные вложения в развитие новых источников энергии.

Наиболее универсальной формой энергии и наиболее удобной для практического применения в жизнедеятельности Человечества, пригодной для централизованного и объединенного в сети производства и дальнейшей передачи, в настоящее время является электроэнергия, т.е. электричество. Электричество уже более века служит магистралью развития энергетики, расширяя область своего применения в быту, промышленности, на транспорте. В росте производства электричества лежит путь к росту экономики и благосостояния стран, особенно новых развивающихся стран.

Электричество пока составляет около 1/6 потребляемой энергии или около 1/3 в мировом топливном балансе, но его доля постепенно увеличивается.

Поэтому в решении энергетической проблемы магистральным направлением является проблема производства электричества от различных источников.

2.1 Топливо-энергетический комплекс на основе углеводородных источников

Энергосистемы, основанные на использовании традиционных топливных ресурсов (нефть, газ, уголь) в настоящее время составляют основу современного топливо-энергетического комплекса (ТЭК).

Энергетика транспортных средств базируется в основном на применении двигателей внутреннего сгорания (бензиновые, дизельные, газовые), турбореактивных двигателей и др., использующих продукты переработки этих естественных энергоресурсов.

Характерной особенностью современного ТЭК является разветвленная сеть предприятий по добыче, переработке и собственно преобразованию энергии. Топливо-энергетический комплекс имеет протяженные системы магистральных и промысловых линий продуктопроводов, линий тепловых и газовых коммуникаций.

Недостатки современного ТЭК на традиционных энергоресурсах: низкая эффективность преобразования энергии в существующих энергосистемах, потери энергии при передаче ее на большие расстояния, высокая стоимость строительства, энергоносителей и эксплуатации, отчуждение территорий, проблемы экологического характера.

В последнее время возникла необходимость в дополнительных затратах на обеспечение безопасности эксплуатации предприятий по добыче и переработке энергоносителей, их магистральных трубопроводов, направленных на предотвращение чрезвычайных ситуаций, в том числе и в результате террористической деятельности.

К недостаткам двигателей внутреннего сгорания и турбореактивных двигателей следует отнести трудности повышения агрегатной мощности, высокую стоимость энергоносителей, загрязнение воздушного бассейна, особенно на переходных режимах работы. При достигнутом уровне развития этих двигателей, характеризующимся приближением к предельным возможностям, обусловленным энергетикой топлива, принятыми схемами и

свойствами конструкционных материалов, традиционные пути их дальнейшего совершенствования достаточно ограничены, поскольку сопровождаются усложнением конструкций, снижением ресурса, ростом стоимости.

Дальнейшее развитие и совершенствование ТЭК на традиционных энергоресурсах связано со следующими двумя основными направлениями.

1. Повышение экономичности технологических процессов производства всех составных его элементах (предприятия добывающих и перерабатывающих отраслей и.д.) и особенно повышение экономичности рабочих процессов преобразования энергии (повышение полноты сгорания и т.п.) в самих энергосистемах (ТЭК, ТЭС и др.).

Совершенствование рабочих процессов всего технологического цикла ТЭК, направленное на максимальное снижение вредного воздействия на окружающую среду.

Вредное воздействие проявляется в эмиссии в атмосферу вредных веществ, парниковых газов, пыли. Ряд современных технологических процессов ТЭК, а также предприятий металлургической, химической и ряда других отраслей дают малое количество выбрасываемых в атмосферу химикатов, но вследствие их способности накапливаться с течением времени на определенных территориях опасность этих загрязнений резко возрастает. Загрязнение водной среды, почвы происходит особенно в больших количествах при чрезвычайных ситуациях, связанных с разрушением магистральных и промысловых продуктопроводов и значительными проливами (выбросами) энергопродуктов. Особую роль играет загрязнение радиоактивными веществами, присутствующими в добываемой нефти и угле. Хотя процентное содержание их незначительно, но высокий и все увеличивающийся уровень добычи этих энергоносителей приводит к накоплению радиоактивных веществ в окружающей среде и создает тем самым дополнительные экологические проблемы.

2. В совершенствовании рассматриваемого энергетического направления представляют интерес результаты некоторых научных исследований и

разработок, связанных с нетрадиционными подходами к решению проблемы повышения экономичности энергосистем, основанных на сжигании углеводородного топлива, в устройствах, вырабатывающих тепловую или электроэнергию. [ноу-хау]

Исследования показали, что совершенствование рабочих процессов в топках котельных, ТЭЦ, тепловых электростанций может быть достигнуто подготовкой однокомпонентного топлива, увеличением времени и поверхности горения, внешним возбуждением топливной смеси. Для подготовки однокомпонентного топлива при использовании жидкого углеводородного горючего без энергозатрат на подвод окислителя (в данном случае воздуха), подсасываемого непосредственно и одновременно как из атмосферы, так и топочного пространства может быть использован вихревой эжектор. При этом в отличие от обычного инжектора длина смесительной камеры резко сокращается.

Увеличение времени и поверхности горения достигается путем применения катализаторов. Эксперименты показали, что создание пылевой завесы в топочном пространстве котлов с кипящим слоем, работающих на угле и мазуте позволяет сократить до 20...30% расход топлива и нагарообразование. В качестве катализаторов могут быть использованы мелкодисперсный геоактиватор, например серпентин, а также зола в замкнутом цикле, подаваемые механически или инжектированием с помощью вдувных вентиляторов.

Для возбуждения топливной смеси предполагается использование плазмообразования в низко- и высокотемпературном вариантах за счет искрового высоковольтного пробоя.

Таким образом, совершенствование энергосистем ТЭК на традиционных энергоресурсах может быть осуществлено по двум направлениям, включающим модернизацию существующих средств и разработку новых.

При модернизации котельных, работающих на твердом топливе, экономически оправданными могут оказаться работы по формированию в

топочном пространстве пылевой завесы на основе золы, способствующей захвату за счет адгезии летучих горючих и негорючих фракций с увеличением поверхности горения, их гравитационной задержке в зоне горения и осаждению на горящий слой топлива с получением тех же эффектов и уменьшением нагарообразования на пучках труб. Возможный рост сопротивления движению газов в завесе компенсируется увеличением их температуры и уменьшением плотности при соответствующем росте скорости и конвективного теплового потока.

Для котельных, работающих на мазуте, может оказаться целесообразным использование в качестве форсунок вихревых эжекторов, создающих на выходе мелкодисперсную воздушно-капельную смесь за счет двухстороннего дополнительного подсоса воздуха из окружающей среды и его перемешивания с мазутом в проточной части эжектора. При нагревании воздуха в пузырьках смеси нагретым мазутом или внешней средой они расширяются, увеличивая и создавая поверхность с двухсторонним горением (объемное горение).

Из других направлений совершенствования ТЭК на традиционных энергоносителях можно указать на разработки, связанные со снижением содержания вредных примесей в сырой нефти, в частности, содержания серы.

В основе новых технологий лежит использование принципа высоковольтной импульсной разрядной обработки энергоносителей. Предполагаемые технологии с одной стороны улучшают сырую нефть как объект рынка энергоносителей, с другой – способствует уменьшению вредных выбросов окислов серы в окружающую среду.

Представляет интерес направление работ по утилизации обводненных углеводородов с помощью импульсной разрядной обработки.

Технология предполагает сжигание углеводородов без привлечения кислорода воздуха и выброса в окружающую среду парникового газа – диоксида углерода с образованием твердых осадков.

Следует отметить, что в настоящее время проблемой снижения содержания диоксида углерода в конечных выбрасываемых в окружающую

среду продуктов в различных технологических процессах заняты многие ученые в мире, поскольку даже небольшое сокращение процентного содержания диоксида углерода в масштабе данной отрасли промышленности может привести не только к экологическому, но и экономическому выигрышу, учитывая квотирование выбросов парниковых газов согласно Киотскому протоколу.

Таким образом, рассматривая различные аспекты развития и совершенствования традиционного ТЭК, приходим к выводу, что в ближайшей по масштабам Человечества перспективе радикального решения энергетической проблемы он не принесет.

С одной стороны, объективно присутствующий фактор ограниченности природных ресурсов, с другой – увеличивающаяся нагрузка на окружающую среду требует привлечения для сохранения биосферы дополнительных все увеличивающихся затрат энергии на компенсацию этой нагрузки.

Необходимо также иметь в виду, что нефть и природный газ являются по существу неисчерпаемыми источниками сырья для производства необходимых продуктов различных сфер жизнедеятельности Человечества, которые Человечество сжигает для производства энергии.

В последние годы в качестве замены нефтепродуктов для производства энергии в ряде стран внедряются энергосистемы, использующие органическое (биоорганическое) топливо.

Стоимость органического топлива для работающих на нем электростанций достигает более 50% от стоимости производства электроэнергии. Это делает цену на электроэнергию, произведенную с использованием органического топлива, очень чувствительной к возможной в будущем эскалации цен на топливо.

2.2 Безуглеродные технологии получения энергии

В качестве альтернативы ТЭК на традиционных энергоресурсах современная цивилизация использует также такие безуглеродные технологии

получения энергии (электроэнергии), как солнечная, ветровая энергия, гидроэнергетика.

Недостатки традиционного ТЭК привели к появлению во второй половине прошлого столетия тенденций перехода на автономные источники энергии с использованием более дешевых энергоносителей. Этой тенденции отвечают солнечные и ветровые электростанции. Отчасти этой тенденции отвечают и небольшие гидроэлектростанции (ГЭС), однако основная часть гидроэнергетики связана с крупными ГЭС, строительство которых особенно интенсивно велось в середине прошлого столетия. Гидроэнергетические ресурсы в развитых странах практически полностью освоены.

Большая часть гидропотенциала развивающихся стран еще ожидает освоения, хотя существуют большие опасения по их дальнейшему освоению в связи со значительными социальными и экологическими аспектами развития крупных ГЭС.

Одним из важных показателей работоспособности электростанций является коэффициент их готовности.

Для ветровых, солнечных электростанций коэффициент готовности находится в пределах 20...40% из-за зависимости от ряда факторов, лежащих за пределами человеческого контроля. Зависимость эта продиктована географическим их месторасположением, а также климатическими и погодными изменениями. В некоторых странах эти виды энергетики получили достаточно широкое распространение. Однако вполне очевидно, что распространение их ограничено условиями данного региона.

У ГЭС готовность сильно зависит от сезонности водных потоков. Мировой среднегодовой коэффициент готовности для гидроэлектрических проектов составляет около 50%. Отсюда следует, что солнечные, ветровые и гидроэлектростанции не могут эксплуатироваться в качестве станций базовой нагрузки, способных производить электроэнергию круглосуточно и круглогодично.

Энергия ветра, крупные ГЭС и фотогальванические солнечные элементы

дают, вообще говоря, малую эмиссию парниковых газов. Однако в некоторых случаях наносимый ими прочий экологический ущерб может оказаться значительно серьезнее. С ветровой энергетикой связаны локальные проблемы для окружающей среды: шум, помехи телекоммуникациям, потребность в больших земельных площадях и влияние на дикую природу. Некоторыми возможными последствиями для окружающей среды от использования фотогальванических преобразователей солнечной энергии является потребность в земельных площадях, микроэкономическое влияние на флору, фауну и климат, необходимость в огромном количестве материалов и получение твердых отходов, включающих соединения кадмия и мышьяка.

Крупные гидроэнергетические проекты дают как локальные, так и общие эффекты, например, вырубка лесов, влияние на ирригацию, сейсмические эффекты, затопление обширных площадей полезных территорий, переселение людей.

Таким образом, несмотря на ряд безусловных достоинств, в целом эти безуглеродные источники энергии в обозримом будущем не могут рассматриваться как кардинальное решение энергетической проблемы, стоящей перед Человечеством.

3. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В СТРУКТУРЕ МИРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Достижения в области фундаментальной физики на рубеже XIX и XX открыли перед Человечеством новую эру – эру ядерной физики. Успехи в развитии ядерной физики в первой половине XX века, а также в ряде прикладных наук предопределили широкое внедрение ядерных технологий прежде всего в военном деле и производстве электроэнергии, а также геологии, горном деле, научных исследованиях, медицине, различных промышленных технологиях.

Поистине представляется высшим промыслом существование единственного долгоживущего делящегося урана-235, сохранившегося в природном уране-238 в количестве 0,7%, достаточном как для его извлечения из природного урана, так и для создания теплового реактора. Это позволило США и вслед за ним СССР создать уже в 40-е годы реакторы для производства плутония, заводы по изотопному разделению урана, ядерное оружие на плутонии-239 и уране-235, в 50-е годы реакторы для атомных подводных лодок и первые атомные электростанции (АЭС) на выросших из военной техники тепловых реакторах. На этих реакторах в 50...60-е годы стартовал первый этап мировой ядерной энергетики, обеспечивающий в настоящее время 16% мирового производства электроэнергии (в России~15,8%, США~20%, во Франции~80%). / 1 /

3.1. Технико-экономические показатели ядерной энергетики в сравнении с традиционными источниками

Даже при использовании тепловыми реакторами менее 1% урана, добываемого в наиболее богатых месторождениях, ядерное топливо немного дешевле обычного. Выполненный Европейской комиссией в сотрудничестве с Министерством энергетики США проект ExternE показал, что ядерная энергетика имеет самые низкие затраты на энергопроизводство среди

различных проанализированных опций энергоснабжения. Результаты оценок затрат приводятся в таблице 1. / 6 /

Таблица 1

Стоимость производства электроэнергии (включая внешние затраты)

Величина затрат, Евро/кВт*ч	Технология					
	Уголь	Ветер	Нефть	Гидро	Газ	ЯЭ
	7,0	6,2	6,0	4,7	3,9	3,5

Атомные станции требуют больших начальных инвестиций и относительно долгого срока строительства. Тем не менее, станции с несколькими блоками на одной площадке, создаваемые по модульному проекту и имеющие меньший размер блоков, могут дать значительное сокращение капитальных затрат и периода строительства.

Затраты на топливо и эксплуатацию для АЭС за последнее десятилетие и в настоящее время в США составляют около 2% за кВт*ч

Коэффициент готовности АЭС составляет около 75...80%.

За последние десятилетия ядерная энергетика оказала значительное воздействие на уровень предотвращения эмиссий парниковых газов при производстве электроэнергии. В настоящее время производство атомной энергии позволяет предотвратить эмиссию около 8% (1,9 млрд.т) диоксида углерода от мирового производства электроэнергии, которые в противном случае были бы произведены за счет применения органического топлива. При рассмотрении полного цикла ядерного топлива (от добычи урана до захоронения отходов) вся получаемая в результате эмиссии парниковых газов ее величина лежит в пределах от 2,5 до 5,7 Г/кВт*ч, что мало по сравнению с другими циклами производства электроэнергии, как показано в таблице 2. / 6 /

Эмиссия парниковых газов при различных циклах производства
электроэнергии (в граммах угольного эквивалента /кВт*ч)

Величина эмиссии ПГ г/кВт*ч	Источники производства электроэнергии						
	Ядерная энергия	Ветер	Крупные ГЭС	Солнце	Природный газ	Нефть	Уголь
	2,5...5,7	2,5...13	4...6	26...27	120...188	219...246	264...357

Отработавшее топливо, получаемое в результате работы АЭС мощностью 1000 МВт, составляет около 20 тонн в год, что несоизмеримо с эмиссией гигантских объемов загрязняющих веществ от электростанций на органическом топливе. Например, 1000-мегаватная станция с использованием «чистой угольной технологией» дает эмиссию 90 тонн диоксида серы, 45,5 тыс. тонн диоксида азота, 6500 тыс. тонн диоксида углерода, 400 тон тяжелых металлов, включая ртуть и уран, а также 0,0015 мЗв радиоактивности. / 1 /

3.2. Особенности ресурсобеспечения ядерной энергетики.

Известно, что экономичное и рациональное использование имеющихся ресурсов является ключевым фактором устойчивого развития любой технологии производства энергии.

Главной особенностью ресурсобеспечения ядерной энергетики, отличающую ее от других известных источников энергии и способной обеспечить Человечество энергоресурсами на сотни лет, является способность воспроизводства ядерного топлива в ядерных реакторах.

Современная атомная энергетика работает в основном на уране-235, содержащемся в уране-238, как мы уже отмечали в количестве ~0,7%. Его природные запасы не так уж велики и не могут обеспечить атомную энергетику на длительное время.

Однако на Земле есть большие запасы ядерного сырья урана-238 и тория-232, которые можно переработать в делящее вещество: плутоний-239 и

уран-233.

Получение делящегося вещества из ядерного сырья значительно пополнит энергетические ресурсы. Усилия современной науки направлены на разработку эффективных способов получения плутония-239 и урана-233 и создание приемлемых ядерных топлив на основе этих веществ. В настоящее время практическое применение нашел способ получения делящихся вещества в реакторах, когда одновременно сжигается и воспроизводится делящее вещество.

Делящееся вещество можно получить в двух топливных циклах: урановом и ториевом.

В урановом цикле в результате ядерной реакции при взаимодействии урана-238 с нейтронами образуется делящийся нуклид плутоний-239, т.е. плутоний-239 служит делящимся веществом, а ядерным сырьем является уран-238.

В ториевом цикле делящимся веществом служит уран-233, образующийся в результате ядерной реакции при взаимодействии нейтрона с ядром тория-232, ядерным сырьем служит торий-232.

В природе не существует залежей веществ, содержащих плутоний-239 и уран-233. Поэтому для осуществления обоих топливных циклов плутоний-239 и уран-233 накапливают в реакторах на тепловых нейтронах с ядерным топливом из урана-235. Поскольку уран-235 не воспроизводится в реакторах-размножителях, а его природные запасы, ограничены, то с развитием ядерной энергетики он постепенно будет заменен плутонием-239 или ураном-233.

Урановый цикл наиболее эффективен в реакторах-размножителях на быстрых нейтронах.

Ториевый цикл наиболее эффективен в реакторах-размножителях на тепловых нейтронах.

Величина коэффициента воспроизводства, характеризующего образование делящихся ядер на каждое выгоревшее делящееся ядро, в реакторах-размножителях на быстрых нейтронах для уранового цикла может

достичь ~ 2 , а для ториевого цикла в реакторах на топливных нейтронах - 1,1...1,15.

Однако для обеспечения промышленной эксплуатации первого поколения реакторов на быстрых нейтронах необходимый для их работы плутоний-239 должен быть накоплен в реакторах на тепловых нейтронах.

Особенностью работы ядерных реакторов являются также неполное сгорание топлива. В реакторах на тепловых нейтронах, оно как правило, составляет 1,5...3%. Сгорание может быть доведено до 10% в реакторах на быстрых нейтронах. Оставшееся исходное и вторичное (воспроизведенное) ядерное топливо после соответствующей регенерации может быть возвращено в ядерный реактор. Комплекс процессов, связанных с получением ядерной энергии составляет ядерный тепловой цикл (ЯТЦ). Если обработанное ядерное топливо перерабатывается и делящиеся материалы возвращаются в топливный цикл, то ЯТЦ является замкнутым. В противном случае – открытым.

Итак, основным видом в настоящее время для топлива АЭС в мире остается пока природный уран и открытый ядерный цикл.

Разведанные мировые запасы урана при издержках производства менее 80 дол/кг составляет $\sim 3,5$ млн.т и могут обеспечить потребность мировой ядерной энергетики при современном уровне потребления (около 65 тыс.т. в год) в течение около 50 лет, высокорентабельные ресурсы при издержках менее 40 дол/кг – в течение 35 лет. Наличие собственных ресурсов, безусловно, является немаловажным фактором для национальной энергетической безопасности. Разведанные запасы природного урана нашей страны составляют 165 тыс. тонн, из них 56 тыс.тонн являются высокорентабельными. / 10 /

Помимо указанных ресурсов природного урана у нас существуют в настоящее время и дополнительные источники: складские запасы, рецикл урана и плутония, запасы высокообогащенного урана, доля которых составляет 25..30% разведанных природных запасов. Кроме того, в результате разоружения ожидается высвобождение до 100 т оружейного плутония, задача оптимального использования которого также стоит перед ядерной энергетикой.

3.3 Ядерные реакторы, состояние и перспективы

Действующее поколение ядерных реакторов АЭС, а также и атомных станциях теплоснабжения (АСТ) – это в основном тепловые реакторы, отличающиеся друг от друга по компоновке, по конфигурациям систем управления и охлаждения по используемому в них топливу, замедлителям, поглотителям и их объемному количеству. /8 /

Среди используемых типов реакторов мировой ядерной энергетики около 92% составляют водоводяные кипящие реакторы (ВВЭР) и реакторы с водой под давлением. Эффективность использования энергетического потенциала урана в этих реакторах невелика и составляет всего 0,5...0,7%.

Вместе с тем, требования к безопасности, экономичности, конкурентоспособности, обеспеченности сырьевой базой определили их как основу ядерной энергетики мира на среднесрочную перспективу. В СССР до аварии на Чернобыльской АЭС, атомная энергетика развивалась на базе реакторов РБМК – (реактор большой мощности канальный; канальное направление) и реакторов ВВЭР (корпусное направление), а после аварии в 1986 г. базовым реактором остался ВВЭР-1000. Тем не менее, проектные решения и конструктивные особенности, заложенные при создании АЭС с реактором РБМК в середине 60-х годов XX века, обеспечили ряд реальных преимуществ реакторов этого типа.

В настоящее время в России из 31 энергоблоков на 10 АЭС 11 представляют собой реакторы РБМК-1000 (Курская, Ленинградская, Смоленская) и доля генерации электричества и тепла с них равна половине, вырабатываемых на АЭС страны.

После аварии на ЧАЭС, а именно на ней были установлены реакторы РБМК-1000, проведено усовершенствование всех реакторов РБМК-1000, которые практически исключили возможность перерастания аварий, относящихся к числу проектных, в тяжелые (т.е. запроектные), хотя справедливо отметить, что эти мероприятия не были оптимальными.

В концепции Федеральной целевой программы развития атомного

энергопромышленного комплекса России предусмотрено создание (проект АЭС-2006) корпусного ВВЭР мощностью, несколько большей, чем у действующих сегодня энергоблоков - тысячников (~1100-1150МВт). Проектирование и начало строительства АЭС по проекту АЭС-2006 числится в целевой программе до 2010 года. При разработке нового поколения ВВЭР планируется учесть весь накопленный отечественный и зарубежный опыт эксплуатации водо-водяных реакторов.

Таким образом, можно с большой уверенностью утверждать, что до 2030 года основу мировой и российской ядерной энергетики будут составлять водо-водяные тепловые реакторы, использующие урановое топливо. В соответствии с упомянутой целевой программой при строительстве двух энергоблоков в год возможно сохранение доли выработки электроэнергии в стране на уровне 16%, т.е. на сегодняшнем уровне. / 8 /

Итак, настоящее состояние ядерной энергетики характеризует эволюционный путь ее развития. Инерция укоренившаяся в ядерном сообществе эволюционных стереотипов, сводящих дальнейшее ее развитие к поиску новых технических решений областей применения реакторов традиционных типов не позволили решить задачу за первые полвека ядерной энергетики превращения ее крупномасштабную энергетику XXI века.

Ядерная энергетика пока еще сохраняет черты своего военного происхождения, ее ЯТЦ с разделением урана и извлечением плутония из ОЯТ остается каналом получения оружейных материалов.

Каковы принципиальные проблемы решения этих задач?

3.4 Основные проблемы современной ядерной энергетики

Множество принципиальных проблем, стоящих на пути превращения ядерной энергетики в крупномасштабную мировую энергетику группируются вокруг трех основных направлений: безопасность, обращение с радиоактивными отходами, рост технико-экономических показателей.

Энергоемкость ядерного топлива диалектически связана с

концентрированной опасностью. Поэтому решение проблемы обеспечения безопасности, направленное на исключение неконтролируемого развития ядерных реакций и распространения радиации с самых первых шагов использования атомной энергии в энергетических установках было предметом особого внимания. Однако только практический опыт, накопленный после выработки тысяч реакторо-лет, учет крупных аварий и Чернобыльской катастрофы, явился основанием к современному пониманию безопасности и подходом к ее обеспечению и обоснованию. Этот опыт круто изменил подходы к обеспечению безопасности, заставил учитывать маловероятные события и принять срочные технические меры для снижения вероятности аварий со значительным удорожанием АЭС. / 9 /

Другим отрицательным фактором, несмотря на огромную значимость использования ядерных технологий, сдерживающим их широкое внедрение, является практически неизбежное образование и накопление радиоактивных отходов (РАО).

Напомним, что к РАО относятся отходы, содержащие радионуклиды, утилизация которых (т.е. повторное использование в человеческой деятельности) или невозможна, или экономически невыгодна.

Особое место в этой проблеме отводится так называемому отработанному ядерному топливу (ОЯТ).

С одной стороны – это отходы, содержащие потенциально опасные радионуклиды, образовавшиеся в результате облучения в ядерном реакторе и не имеющие при существующем уровне технологий достаточного применения.

С другой – ОЯТ на 90% состоят из материалов, пригодных для дальнейшего использования в промышленности и является ценным сырьем для получения регенерируемых компонентов ядерного топлива.

Исторически вопросом обращения с РАО, их утилизации и хранения уделялось второстепенное внимание по сравнению с вопросами создания и эксплуатации объектов атомной энергетики, науки и промышленности. Однако по мере развития атомной энергетики, да и всей ядерной отрасли стали

отчетливее прорисовываться серьезные последствия этой проблемы в случае недостаточности принимаемых мер для ее решения.

Концепция замкнутого ЯТЦ в ядерной энергетике, принятая в России и некоторых других промышленно развитых странах (Франция, Великобритания, Япония и др.) заключительным этапом содержит регенерацию ОЯТ для повторного использования делящихся материалов, а также утилизацию всех видов РАО с получением отвержденных материалов, пригодных для длительного хранения в специальных могильниках. При разомкнутом ЯТЦ хранения ОЯТ без переработки можно рассматривать лишь как временную меру, за которой неизбежно должна следовать переработка, ибо долговременное хранение ОЯТ представляет собой большую экологическую опасность из-за возможного разрушения современных ТВЭЛов и возрастающей вследствие этого вероятности миграции радионуклидов в окружающую среду.

Усилия и риск Человечества, направленные на широкомасштабное освоение такого потенциально опасного источника энергии, как ядерная энергия, исторически могут быть оправданы, если создание новой технологической платформы дальнейшего развития, повышения технико-экономических показателей ядерной энергетики будет ориентировано на воспроизводимые, практически неисчерпаемые топливные ресурсы.

3.5 Перспективы развития ядерной энергетики

3.5.1 Реакторы на быстрых нейтронах

Вторым проявлением высшего промысла после сохранившегося до наших дней естественного делящегося урана – ^{235}U , позволившим создать ядерную энергетику, явились реакторы на быстрых нейтронах с уран-плутониевым топливом. Еще в 40-е годы прошлого столетия Э.Ферми в США, А.И.Лейпунский в России и другие выдающиеся физики оценили важность уникального избытка нейтронов в быстрых реакторах на уран-плутониевом топливе (теоретически 2.3. против 1 в тепловых реакторах).

Это уникальное свойство быстрых нейтронов может быть использовано как для

размножения плутония и обеспечения темпов развития ядерной энергетики в условиях ограниченных ресурсов природного урана, так и для решения принципиальных для ядерной энергетики вопросов безопасности, конкурентоспособности, экологии и нераспространения делящихся материалов. Сейчас сформировалось общепринятое мнение мирового ядерного сообщества о необходимости внедрения быстрых реакторов в структуру ядерной энергетики будущего.

На основании анализа возможности и эффективности использования в быстрых реакторах различных теплоносителей (жидких металлов, газа, водяного пара) с точки зрения их ядерно-физических, теплофизических и технологических свойств в России (А.И.Лейпунский), США, Великобритании, Франции специалисты отдали предпочтение натрию. К настоящему времени стадию освоения быстрых натриевых реакторов прошли или проходят 10 стран. В нашей стране была осуществлена наиболее продуманная и последовательная программа развития быстрых реакторов. В настоящее время 3-ий блок Белоярской АЭС, оставаясь единственным успешно эксплуатируемым коммерческим быстрым реактором (БН-600) в мире, несет громадную научно-техническую и идеологическую нагрузку.

В современных условиях развития быстрых реакторов кроме традиционной цели экономии природного урана имеет новые стратегические направления: утилизацию выделенного энергетического и освобожденного оружейного плутония (как краткосрочная задача) и выжигание таких изотопов как нептуний, америций, кюрий (в долгосрочном плане).

Анализ развития ядерной энергетики в различных странах показывает, что наметились тенденции к выравниванию технико-экономических показателей АЭС с легководными (тепловыми) и быстрыми с натриевым теплоносителем реакторами. Это в значительной степени определяется ужесточением требований безопасности, причем в силу особенностей их удовлетворения в быстром реакторе достигается более простыми техническими средствами.

Таким образом, роль энергетики на основе традиционных АЭС с

тепловыми реакторами ограничена, их конкуренция и выживание на энергетическом рынке зависит от конъюнктуры и роста цен на исчерпаемое топливо и энергию при учете внешних затрат. Оценить долговременную роль в энергетике новых АЭС с быстрыми реакторами, не имеющих ограничений по топливному сырью, решающих проблемы безопасности и отходов и устойчивых к нераспространению оружия немного проще, хотя эти качества и производство ими более дешевой энергии еще нуждается в подтверждении, в конечном счете, коммерческих АЭС.

3.5.2 Ториевая энергетика

Прогнозы, выполненные ведущими специалистами – атомщиками, показывают, что ближе к концу века ядерная энергетика, основанная на тепловых реакторах с урановым топливом, перестанет функционировать. Переход к замкнутому топливному циклу тепловых реакторов по урану и плутонию позволило бы увеличить энерговыработку и время жизни этой энергетике примерно на одну треть, однако такое замыкание нерентабельно и к тому же оно закрыло бы возможность развития большой энергетике на быстрых реакторах. Считается также, что тепловые реакторы разных типов могут быть необходимы для нужд удаленных районов, и производства водорода и других целей. Поэтому ядерная энергетика на тепловых реакторах суммарной мощностью около 50 ГВт должна функционировать и за пределами XXI века. Однако для этого необходимо перевести тепловые реакторы в предпочтительный для них уран-ториевый топливный цикл с производством урана-233 в ториевых бланкетках, которыми к концу века нужно будет снабдить быстрые реакторы без существенного изменения их конструкции.

Следует отметить, что освоения уран-ториевого топливного цикла само по себе представляет достаточно перспективное направление развитие ядерной энергетике.

Ториевая энергетика, по мнению специалистов, действительно способна вывести Россию на лидирующую роль на мировой арене высоких технологий.

Запасы тория на планете превосходят запасы урана в 4...5 раз. Ториевые месторождения более доступны, в отличие от урановых. Наши запасы урана достаточно ограничены, поскольку основные разведанные советскими учеными месторождения урана находятся в Казахстане и Узбекистане. Поэтому, как уже отмечалось, больших перспектив развития урановой энергетики ожидать не приходится. Другое дело с торием. Россия имеет гигантские месторождения тория в Сибири в районе Новокузнецка, в районе Томска. Если учесть, что к этим запасам практически не приступали, то сегодня мы имеем самые дешевые месторождения. Среди преимуществ ториевой энергетики, прежде всего, необходимо отметить, что она в отличие от урановой, не нарабатывает плутоний и трансурановые элементы. Этим снимается главная претензия, которую выдвигают мировые экологические движения к атомной энергетике в целом. В связи с этим, проблема нераспространения ядерного оружия имеет конкретное техническое воплощение, в отличие от всяких бумажных обязательств.

Ториевая энергетика способна обеспечить большую безопасность ядерных реакторов, особенно в условиях террористических угроз.

Оценки показывают, что ториевая энергетика способна превышать по эффективности урановую энергетику не в процентах, а в размах. Один пример, иллюстрирующий это положение. В ходе модернизации действующих АЭС на тепловых реакторах при переводе их на торий, в тех же габаритах в корпусе ядерного реактора можно разместить ториевые ТВЭЛы, которые с этого же объема активной зоны могут снять энергии в 2...3 раза больше. Получается, что в ходе реконструкции не строится новая АЭС, а строится как бы удвоение мощности. Решающим преимуществом проекта модернизации действующих АЭС (особенно АЭС с реакторами РМБК) с переводом их на торий является то, что ториевый реактор по своей внутренней физической сути не способен привести к ядерному взрыву, как его ни разрушать. Потому можно утверждать, что ториевый реактор – это именно то техническое решение, которое обеспечивает полную ядерную безопасность.

Итак, торий может расширить топливную базу ядерной энергетики в несколько раз, но для этого нужно создать промышленность по его добыче, производству и переработке. Торий не конкурирует с ураном, а создает дополнительные ресурсные возможности, и позволяет расширить использование реакторов с тепловым и промежуточным спектрами нейтронов.

Однако если высокие темпы развития ядерной энергетики будут ограничиваться ресурсами дешевого урана, масштабное внедрение тория будет замедлено, поскольку время удвоения ядерного топлива в ториевых системах намного больше, чем в системах с быстрыми реакторами, работающими на уран-плутониевом топливе.

3.5.3 Электроядерные системы

Следующим перспективным направлением дальнейшего развития ядерной энергетики, позволяющей комплексно решать уже упомянутые задачи, а именно повышение безопасности, разработки эффективных методов трансмутации долгоживущих компонентов РАО, нераспространения технологии и материалов, пригодных для создания ядерного оружия, а также формирования положительного общественного климата доверия по отношению к ядерным технологиям, по разным оценкам специалистов, являются подкритические электроядерные системы, управляемые сильноточными ускорителями. / 1 /

Электроядерные установки представляются уникальными с точки зрения трансмутации РАО: они позволяют сжечь не только свои собственные РАО, но и принять на себя уничтожение отходов с других систем, в том числе уже накопленных.

Для управления ускорителями подкритических электроядерных реакторов не требуется систем контроля и аварийной защиты. Кроме того, они позволяют существенным образом упростить инфраструктуру топливного цикла, исключая тем самым необходимость огромных капиталовложений и текущих расходов. Существующий топливный цикл со сложной и дорогой

инфраструктурой характеризуется низкой эффективностью использования добытого урана.

Новый оптимизированный топливный цикл во много раз улучшает эффективность использования добытого урана и существенно сокращает необходимую инфраструктуру, поскольку в таких системах нет необходимости удаления продуктов деления ввиду отсутствия ограничения на глубину выгорания топлива, обусловлено отсутствием конструкционных материалов в активной зоне системы. В результате, по предварительным оценкам, стоимость производимой ими электроэнергии оказывается значительно дешевле, чем на действующих АЭС и тепловых ЭС, не говоря уже о несравненно большей экологической чистоте окружающей среды. / 11 /

Широкие перспективы в развитии электроядерных систем открывают каскадные двухреакторные подкритические системы, состоящие из реактора-бустера, работающего в жестком нейтронном спектре, и теплового реактора, производящего основную часть энергии.

Принципиально двухреакторная электроядерная система включает основной энергетический реактор и промежуточный реактор-бустер на быстрых нейтронах. Конструктивно основной реактор является внешним по отношению к бустерному и отделен от него термомеханической изолирующей зоной, так как режимы работы быстрой и тепловой зон различаются своими параметрами. В центре бустера расположена мишень из свинцово-висмутовой эвтектики, которая генерирует нейтроны, рождающиеся в высокоэнергетических реакциях расщепления, испарения и деления образующихся при этом высоковозбужденных ядер. Мишень облучается высокоэнергетическим потоком протонов, генерируемых линейным (или циклическим) ускорителем заряженных частиц.

Безопасность электроядерных установок обеспечивается прежде всего ее глубокой подкритичностью, что исключает реактивностные аварии с многократным увеличением мощностей, возможностью мгновенной остановки электроядерной системы путем выключения ускорителя с любой степенью

вероятности за время примерно 1 мс и с последующей организацией отвода остаточного энерговыделения за счет естественной циркуляции теплоносителя.

Промышленное освоение электроядерных систем в настоящее время требует проведения широкого спектра научно-исследовательских и проектно-конструкторских проработок. Однако исключительное их качество безусловно позволяет рассматривать их в качестве перспективного направления развития энергетических ядерных установок будущего.

3.6 Роль ядерной энергетики в неэлектрических секторах энергопотребление

Историческое значение ядерной энергетики видится в переводе централизованного производства электричества на дешевое, общедоступное, неисчерпаемое и свободное от парниковых газов ядерное топливо. Электричество уже более века служит магистралью развития энергетики, расширяя область своего применения в быту, промышленности, на транспорте. Централизованное производство электричества на АЭС мощностью в сотни-тысячи МВт наиболее соответствуют экономическим и другим особенностям ядерной энергетики. Это не исключает использования небольших АЭС для решения нужд удаленных районов, для специализированного назначения. В дополнение к производству электроэнергии ядерные реакторы могут поставить значительное количество энергии для теплоснабжения, производства водорода и синтетического топлива, для опреснения воды.

Перспективные оценки возможности поставки энергии ядерных реакторов для неэлектрических нужд к середине и концу 21-го века представлены в таблице 4.

/ 10 /

Таблица 4

Возможности использования тепловой энергии ядерных реакторов, ГВ.

№ п/п	Сфера потребления	2050 г. оценка		2100 г оценка	
		нижняя	верхняя	нижняя	верхняя
1	Производство водорода	456	596	1232	1520

2	Опреснение воды	80	160	136	272
3	Промышленное тепло	240	2900	400	4900
4	Теплофикация	340	7600	340	7600
5	Газофикация угля	-	-	250	600

Экологически чистое обеспечение человеческого общества энергией в ряде отраслей промышленности таких, как химическая, металлургическая, строительная, топливная и некоторые другие, а также перевода транспортных средств на экологически чистую энергетику связано с широким освоением водородной энергетики.

В настоящее время крупномасштабное производство водорода и водородсодержащих продуктов осуществляется в мире в основном путем паровой конверсии природного газа метана. В этом случае около половины исходного газа расходуется на эндотермический процесс паровой конверсии. Кроме того, сжигание природного газа приводит к загрязнению окружающей среды продуктами его сгорания.

Для экономии природного газа и снижения нагрузки на окружающую среду разработана технологическая схема паровой конверсии метана с подводом тепла от высокотемпературного гелиевого реактора. Эта схема может использоваться также для дальнейшего теплоснабжения с хемотермической передачей энергии. При паровой конверсии метана ядерная технологическая часть комплекса аккумулирует энергию тепла, получаемого от высокотемпературного реактора, синтез-газ транспортируется к центральному потреблению тепла, где в метанаторе проводится обратная реакция с выделением тепла. Это тепло передается распределенному потребителю в виде горячей воды и/или пара.

В долгосрочной перспективе наибольший интерес могут представить процессы получения водорода из воды с использованием тепловой и электрической энергии ядерных реакторов.

Многие регионы мира испытывают дефицит пресной воды. Объем дополнительных потребностей пресной воды в ближайшее десятилетие

оценивается в несколько кубических километров в год. В настоящее время во всем мире функционирует более 7 тысяч опреснительных установок. Такие установки энергоемки и обычно получают нужный им пар или электроэнергию от традиционных энергетических установок, работающих на углеводородном топливе со всеми вытекающими экологическими и экономическими проблемами.

На смену этим установкам ядерная энергетика предлагает систему двойного назначения, известную под названием «ядерное опреснение», т.е. создание таких ядерных реакторов, которые вырабатывая электричество, позволяют экономно превращать морскую воду в пресную питьевую. Технология, совмещающая выработку ядерной энергии и опреснение, уже применяется в Японии и Казахстане. На международной конференции по ядерному опреснению, проходившей в Марокко в конце 2002 года было отмечено, что конструкции усовершенствованных высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов в комбинации с опреснительной установкой одновременно с выработкой электроэнергии, может производить пресную воду по цене около 1 дол. за 2 куб.м.

3.7 Проблема термоядерного синтеза

Рассматривая состояние и перспективы развития современной ядерной энергетике необходимо отметить, что вся она построена на освоении управляемой цепной реакции деления ядер расщепляющегося вещества. Совершенно новые горизонты открывает перед человечеством перспективы освоения управляемой термоядерной реакции синтеза легких ядер, при которой ожидается значительно большее выделение энергии. Термоядерный синтез требует звездной температуры и пока был осуществлен в ядерных взрывах и физических экспериментах.

Для получения управляемой термоядерной реакции в земных условиях нужно создать высокотемпературную плазму в несколько десятков или сот миллионов градусов. Начиная с некоторой температуры, называемой

температурой зажигания T_0 и лежащей в указанном диапазоне, реакция синтеза становится самоподдерживающейся.

Главная проблема – это удержание в сжатом состоянии плазмы и ее термоизоляция от стенок реактора. Одно из направлений – удержание и термоизоляция плазмы при помощи неоднородных магнитных полей (магнитные зеркала).

Наиболее близко к созданию термоядерного реактора позволили подойти результаты многолетних советских (российских) исследований, проводимых на модельной установке ТОКАМАК. Установка ТОКАМАК – это трансформатор с одновитковой вторичной обмоткой (плазмой). Перед заполнением газом (смесью дейтерия с тритием) в рабочей камере установки создают высокий вакуум. После заполнения газом под низким давлением осуществляют искровой пробой и ионизация газа. Электрический ток, протекающий по ионизированному газу, нагревает его до высокой температуры. Магнитная изоляция создается наложением двух магнитных полей. Первое, основное магнитное поле – это магнитное поле электрического тока в плазме. Оно сжимает плазму в радиальном направлении и удерживает ее в камере. Второе, управляемое магнитное поле, образующееся при пропускании электрического тока через магнитные катушки, используется для стабилизации плазмы. На установке ТАКАМАК – 10 достигнута температура плазмы 10^7 К. Чтобы осуществить самоподдерживающуюся термоядерную реакцию потребуется увеличить температуру плазмы примерно в 10 раз.

Другое направление освоения управляемой термоядерной реакции – это лазерный термоядерный синтез.

Под действием импульса света лазер длительностью до 10^{-10} с направленного на небольшую таблетку из замороженной смеси дейтерия и трития, поверхностный слой ее испаряется, переходит в плазменное состояние, а затем плазма нагревается до нескольких десятков миллионов градусов. В течение времени примерно 10^{-9} с в плазме происходит термоядерная реакция. Энергетический выигрыш в лазерном термоядерном синтезе может быть

получен при условии превышения энергии взрыва над затраченной энергией.

Таким образом можно констатировать, что решение проблемы управляемого термоядерного синтеза позволит обеспечить человечество практически неисчерпаемым источником энергии, поскольку запасы дейтерия и лития в природе огромны.

Вместе с тем освоение этого направления ядерной энергетики потребует проведения широкого круга исследований, и создание реактора синтеза для производства энергии остается задачей 21-го века.

Россия сегодня является одним из активных участников международной программы освоения термоядерного синтеза ИТЭР. Однако России нужна своя отдельная программа работы по освоению термоядерной энергии в России, развитие и масштабная поддержка исследовательской и испытательной базы в развитии новой технической платформы развития ядерной энергетики. / 8 /

3.8 Основные этапы развития ядерной энергетики в XXI веке

Крупномасштабное развитие ядерной энергетики невозможно без расширения ресурсной базы, внедрения реакторов с расширенным воспроизводством топлива и замыкания ядерного топливного цикла с использованием в качестве сырья урана и тория. Оценивая предстоящие этапы развития ядерной энергетики, можно выделить ее магистральное направление: сочетание эволюционного улучшения отработанных и успешно реализуемых технических подходов и постепенной разработкой и освоением новых технологических решений.

Ближайший этап (до 2025 года) будет характеризоваться преобладанием эволюционного развития реакторов и технологий топливного цикла, разработкой и опытной эксплуатацией улучшенных и инновационных технологий реакторов и топливного цикла. Это развитие включает совершенствование легководных реакторов, разработку и совершенствование реакторов на быстрых нейтронах, а также разработку неводных методов переработки отработанного топлива. / 6 /

Этап активного роста ядерной энергетики (до 2050 года) будет, по-видимому, характеризоваться расширением ее масштабов примерно в 4...5 раз, освоением инновационных технологий реакторов и топливного цикла. Он будет включать расширение воспроизводства топлива, реализацию замкнутых уран-плутониевого и торий-уранового циклов, долговременную геологическую изоляцию РАО, внедрение быстрых реакторов размножителей, производство водорода, опреснение воды.

Вторая половина текущего столетия, по-видимому, будет посвящена периоду устойчивого развития крупномасштабной ядерной энергетики. Можно предположить, что этот период будет характеризоваться многокомпонентной ядерной энергетикой, освоением атомно-водородной энергетики, а также началом освоения энергетики термоядерного синтеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергетическая безопасность – это достижение достаточного уровня энерговооруженности Человечества в его стремлении к устойчивому и гармоничному развитию всей земной цивилизации.

Значительный рост энергопотребления обусловлен развитием мировой экономики, достаточно быстрым ростом численности населения земли, стремлением к более равномерному распределению потребления энергии по регионам мира.

В ближайшие десятилетия главным источником энергии останется углеводородное топливо. Освоенные месторождения его исчерпываются, а введение в оборот новых потребует все увеличивающихся временных и экономических затрат.

В последние десятилетия перед человечеством во всей полноте открылись угрожающие экологические последствия существующей практики и динамики развития добычи полезных ископаемых. Интенсивно возрастающие атмосферные выбросы топливно-энергетического комплекса, транспорта, многих отраслей промышленности приводят к локальным (смог), региональным (кислотные дожди) и глобальным (потепление климата) изменениям окружающей среды и ухудшению здоровья людей.

Стремление ограничить эмиссию парниковых газов и другие загрязнения атмосферы, водной среды и почв начинает существенно влиять на структуру мировой энергетики и требует значительных дополнительных инвестиций. Альтернативой динамики ухудшения состояния окружающей среды может стать развитие ядерной энергетики.

Обеспечению энергетической безопасности, ослаблению парникового эффекта и других негативных воздействий, позитивному решению проблем, стоящих перед Человечеством может способствовать увеличение производства атомной энергии к середине века в 4...5 раз от ныне достигнутого уровня.

Наличие мощностей такого масштаба ставит важные вопросы

обеспечения дешевым топливом, обращения с РАО, технической безопасности.

Ядерная энергетика обеспечивает базовую электрическую нагрузку. В перспективе она будет замещать природный газ в производстве тепла для технологических процессов, а в конечном счете обеспечит получение водорода из воды, что сохранит природное органическое сырье для неэнергетического применения.

В перспективе будет освоено опреснение морской воды и использованием атомной энергии.

Мировые запасы ядерных материалов для обеспечения потребностей в топливе на многие годы вперед еще достаточно даже при работе в открытом среднем цикле. Однако дальнейшее развитие ядерной энергетике неизбежно столкнется с ограниченностью ресурсов дешевого урана и придется реализовывать замыкание топливного цикла и расширенное воспроизводство топлива при использовании урана и тория.

Для положительного восприятия общественным мнением крупномасштабной ядерной энергетике исключительную важность имеет решение проблем обращения с большими объемами руды при добыче урана, отработавшим ядерным топливом и высокоактивными отходами. К ним относятся работы по эффективным методам переработки ОЯТ, сжиганию наиболее опасных актиноидов и, возможно, долгоживущих продуктов деления, долговременной изоляции РАО.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Котляков В.М. Сохранение биосферы-основа устойчивого развития общества.//Вестник РАН.–М.: Наука, 1994.– т.64 № 3.
2. Проблемы экологии./Под редакцией В.И.Данилова-Данильяна и В.М.Котлякова.–М.:ВИНИТИ 1993.
3. Кузьмин Н.И., Шапошников Д.А.Концепция безопасности от риска «нулевого»-к приемлемому»./Вестник РАН.– М.: 1994. т.64 № 3.
4. Арбатов А.Г. Ядерное сдерживание и распространение вчера, сегодня, завтра...»./АВН ЦПСЯС Российская инженерная академия стратегическая стабильность.–2003.№ 4.
5. Василенко В.В., Бабенко А.С., Брайчев И.В. Влияние фактора боевой готовности стратегических ядерных сил на стратегическую стабильность.// АВН ЦПСЯС Российская инженерная академия стратегическая стабильность.–2002.№ 2.
6. Обращение с радиационными отходами в России и странах с развитой атомной энергетикой./Под редакцией В.А.Василенко.//Федеральное агентство РФ по атомной энергии.–СПб, 2005.
7. Гагаренский А.Ю. и др. Роль ядерной энергетики в структуре мирового энергетического производства XXI века.// Федеральное агентство по атомной энергии АЭ.–2005.–т.99, вып.5
8. Кириенко С.В. Стратегия развития.//Доклад руководителя Федерального агентства по атомной энергии.–Росэнергоатом, 2006.– № 8.
9. Государственный доклад МЧС России о состоянии защиты населения и территории РФ от ЧС природного и техногенного характера в 2005 г.// Проблемы безопасности при ЧС.– Москва, 2006.– № 4.
- 10.Адамов Е.О. и др. Роль ядерной энергетики в крупномасштабной энергетике России XXI веке. //Федеральное агентство по атомной энергии АЭ.–2004.–т.97, вып.2
- 11.Шведов О.В. и др. Электроядерные системы – ядерные энергитические установки нового поколения. //Федеральное агентство по атомной энергии АЭ.– 2004.–т.37, вып.2