

ОГБУ «Региональный центр развития образования»
Федеральная инновационная площадка Минпросвещения России
МБОУ Академический лицей г. Томска имени Г.А. Псахье
Межмуниципальный центр по работе с одаренными детьми «Центральный»

**XXIX открытая научно-практическая конференция школьников
им. В.Е. Зуева по междисциплинарной теме
«Конвергенция: познание без границ»**

**Проект на тему:
" ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ
НА ПРИМЕРЕ СТРОЯЩЕГОСЯ В Г. СЕВЕРСКЕ
ОПЫТНО-ДЕМОНСТРАЦИОННОГО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА "**

Выполнил: Мельников Александр, ученик 5 класса гамма
МБОУ Академического лицея им. Г.А. Псахье, г. Томск
Руководитель: Галушко Наталья Сергеевна,
учитель математики

г. Томск 2023 г.

Оглавление

Введение	3
Глава 1 Теоретическая часть. Замкнутый ядерный топливный цикл на примере строящегося в г. Северске опытно — демонстрационного энергетического комплекса	5
1.1 Ядерный топливный цикл.....	5
1.2 Характеристика промышленных объектов, находящихся на площадке опытно — демонстрационного энергетического комплекса	7
Ядерный реактор БРЕСТ — ОД — 300 на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем	8
Заводы по переработке и фабрикации/рефабрикации отработавшего ядерного топлива ..	11
Производство по подготовке радиоактивных отходов к удалению из технологического процесса	13
1.3 Преимущества атомных станций, работающих по технологии замкнутого ядерного топливного цикла	13
Глава 2 Практическая часть. Создание макета ядерного топливного цикла.....	15
Выводы	15
Список литературы	16
Приложение 1: Результаты опроса «Что вы знаете о строящемся в г. Северске опытно — демонстрационном энергетическом комплексе с ядерным реактором БРЕСТ — ОД — 300.....	17
Приложение 2: Интервью у Кнышева В.В., преподавателя инженерной школы ядерных технологий в ТПУ	18
Приложение 3: Посещение мероприятий в Информационном центре по атомной энергии (фото и дипломы)	19
Приложение 4: Фото макета ядерного топливного цикла	20
Приложение 5: Атомный словарь	21

Введение

В прошлом году я работал над темой «Опасны ли атомные станции?». Узнал, что в г. Северске строится опытно-демонстрационный энергетический комплекс (ОДЭК) с реактором БРЕСТ - Быстрым Реактором Естественной Безопасности с использованием технологии замкнутого ядерного топливного цикла. Решил изучить, в чем суть замкнутого цикла, каковы его достоинства, и как отразится работа ОДЭК на населении и экологии Томской области. Провел анкетирование одноклассников и студентов ТГУ по теме: «Что вы знаете об опытно - демонстрационном энергетическом комплексе, который строится в г. Северске». Опрос показал, что ничего об этом не знают или знают очень мало 100% одноклассников и 82% студентов. 63% опрошенных считают, что деятельность энергетического комплекса представит серьезную опасность для жителей и природы региона. Сделал вывод, что радиофобия распространена среди жителей нашего региона (см. Приложение 1).

Предположил, что введение в эксплуатацию ОДЭК не будет иметь негативных последствий для населения и окружающей среды нашего региона.

Цель: изучить технологию замкнутого ядерного топливного цикла и изготовить макет ядерного топливного цикла.

Задачи:

- ✓ Прочитать книги и статьи, посмотреть видеофильмы по теме исследования;
- ✓ Провести опрос одноклассников и студентов ТГУ по теме «Что вы знаете о строящемся в г. Северск опытно - демонстрационном энергетическом комплексе?»;
- ✓ Взять интервью у Кнышева В.В., преподавателя инженерной школы ядерных технологий в ТПУ;
- ✓ Принять участие в мероприятиях ИЦАЭ: «Атомный вечер», лекторий «Дереализация» и VR-экскурсии по Атомной электростанции»;
- ✓ Прослушать лекцию Владимира Кондакова, замдиректора Центра атомной энергетики МИФИ, члена Ядерного общества России, «Реакторы на быстрых нейтронах»;
- ✓ Описать ядерный топливный цикл;
- ✓ Изучить, какие предприятия будут расположены на площадке ОДЭК;
- ✓ Выделить преимущества атомных станций, работающих по технологии замкнутого ядерного топливного цикла;
- ✓ Создать макет ядерного топливного цикла;
- ✓ Оформить выводы.

Объект исследования: Опытно — демонстрационный энергетический комплекс в г. Северске.

Предмет исследования: Замкнутый ядерный топливный цикл.

Методы исследования: Опрос, интервью, наблюдение, сравнение, анализ.

Существует противоречие между утверждениями экологов и представителей «Росатома»: экологи утверждают, что АЭС загрязняют окружающую среду, при хранении ядерных отходов происходят утечки радиоактивных веществ в атмосферу и в почву, есть вероятность взрыва реактора. Представители «Росатома» говорят, что опасность сильно преувеличена, и что атомные станции менее опасны для природы и человека, чем тепловые на угле. В работе рассматривается технология замкнутого ядерного топливного цикла, которая применяется при строительстве энергетического комплекса в г. Северске.

Отвечаем на вопрос: стоит ли жителям Томской области бояться строящейся АЭС с реактором на быстрых нейтронах БРЕСТ — ОД — 300?

В этом году я обучаюсь в очной московской школе программирования (МШП) в дистанционном режиме. На будущий год планирую создать виртуальную экскурсию по реактору и АЭС в целом.

Во время работы над темой проекта мне удалось:

- прочитать несколько книг Акатова А.А. и Коряковского А.С. об ядерном топливном цикле, реакторах на быстрых нейтронах, об атомных станциях и биосфере;
- взять интервью у Кнышева В.В., преподавателя инженерной школы ядерных технологий в ТПУ (*см. Приложение 2*);
- посетить мероприятия Информационного центра по атомной энергии;
- посмотреть видеофильмы: «Ядерный топливный цикл», «Убежище для атома», запись интервью «У Валентина Гибалова», специалиста по ядерной и термоядерной энергетике, (блогер [tenergy](#));
- прослушать видео лекцию «Реакторы на быстрых нейтронах», лектор - Владимир Кондаков, замдиректора Центра атомной энергетики МИФИ, член Ядерного общества России.

Глава 1 Теоретическая часть

Замкнутый ядерный топливный цикл на примере строящегося в г. Северске опытно — демонстрационного энергетического комплекса

1.1 Ядерный топливный цикл

Ядерный топливный цикл — это последовательно повторяющиеся производственные процессы от добычи урановой руды до организации хранения радиоактивных отходов. Главным ядерным топливом является уран, поэтому все этапы топливного цикла определяются химическими и физическими свойствами этого элемента.

В атомной энергетике существует два вида ядерного топливного цикла: открытый и закрытый (замкнутый).

Чередование производственных процессов ядерного топливного цикла:

- ✓ Добыча урана;
- ✓ Переработка урановой руды;
- ✓ Обогащение U — 235 для тепловых реакторов;
- ✓ Изготовление тепловыделяющих элементов и их сборок;
- ✓ Загрузка топлива в ядерные реакторы;
- ✓ Выгрузка и выдержка отработавшего ядерного топлива во временных хранилищах ОЯТ;
- ✓ Переработка ОЯТ на радиохимических заводах;
- ✓ Изготовление новых ТВЭЛов: СНУП и МОХ — топлива с добавлением обедненного урана — 238;
- ✓ Загрузка СНУП и МОХ — топлива в ядерные реакторы;
- ✓ Нарботка в реакторах энергетического плутония — 239 и минорных актинидов;
- ✓ Обезвреживание и отправка на длительное хранение оставшихся радиоактивных отходов.

Открытый ядерный топливный цикл обозначен простым шрифтом, жирным шрифтом показано, как происходит замыкание ядерного топливного цикла: отработавшее топливо выдерживают в специальных временных хранилищах, потом из него на радиохимических заводах готовят новое топливо с добавлением небольшого количества свежего урана — 238, загружают в реактор, через 3 года выгружают такое же количество

топлива, потому что в ходе цепной реакции появляется побочный продукт - энергетический плутоний - 239. Этот промышленный цикл постоянно повторяется.

В открытом ядерном топливном цикле отработавшее ядерное топливо — это высокоактивные отходы, которые хранят в специальных дорогостоящих хранилищах или на полигонах для захоронения, где эти отходы находятся в прочной герметичной таре в твёрдом состоянии. Жидкие радиоактивные отходы хранятся в специальных бассейнах. Места изоляции радиоактивных отходов находятся под наблюдением.

Открытый ядерный топливный цикл низко эффективен: используется один процент природного урана, остальное идет в отвалы. Отходы не участвуют больше в технологических процессах, хотя и содержат делящиеся изотопы. В настоящее время использование открытого ядерного топливного цикла обусловлено невысокими ценами на уран.

На радиохимических заводах происходит переработка отработавшего ядерного топлива: выделение не выгоревшего U-235, всей массы U - 238 и изотопов плутония, которые образуются из урана - 238 во время цепной ядерной реакции. Извлекаются также не выгоревшие минорные актиниды и возвращаются в топливный цикл для более глубокого выгорания. И все равно от 1 до 3 процентов ядерного топлива остается в отходах. Но радиоактивность отходов, которые подлежат захоронению, становится минимально возможной.

Преимущества замкнутого ядерного топливного цикла:

- ✓ Уменьшается количество опасных отходов, которые надо долгое время хранить, что экономически более выгодно;
- ✓ Используется энергетический плутоний из отработавшего ядерного топлива. Плутоний не надо обогащать, его можно смешать с обедненным ураном и изготовить СНУП - или МОХ — топливо для ядерных реакторов разных типов;
- ✓ Замкнутый топливный цикл — это максимальное использование энергетического потенциала урана, что снижает его добычу примерно на 50 процентов.

Ученые говорят, что применение технологии замкнутого ядерного топливного цикла приведет к тому, что постепенно все производство электроэнергии с использованием ядерного топлива станет практически безотходным.

1.2 Характеристика промышленных объектов, находящихся на площадке опытно — демонстрационного энергетического комплекса

Государственная корпорация «Росатом» реализует проект "Прорыв", в рамках которого будет создана технология замкнутого ядерного топливного цикла. Опытно — демонстрационный энергетический комплекс строится на площадке Сибирского химического комбината, который находится в 25 км от Томска в городе Северске.

Это семьдесят гектаров территории, где сегодня видны серые монолитные стены предприятий, арматура, краны и сотни рабочих. Через 6 лет здесь начнет работать первая в мире атомная станция с замкнутым ядерным топливным циклом. Комплекс называется опытным, потому что технологии для него рассчитаны на математических моделях. Эти технологии будут проверены на действующем ядерном реакторе БРЕСТ — ОД - 300. Ученые надеются, что апробация пройдет успешно, и в России появится Атомная станция нового поколения.

В настоящее время идет строительство следующих объектов:

— Ядерный реактор БРЕСТ-ОД-300;

— Заводы по переработке облученного смешанного уран-плутониевого нитридного топлива и фабрикации/рефабрикация топлива;

— Предприятия по подготовке всех видов радиоактивных отходов к окончательному удалению из технологического цикла.

Опытно — демонстрационный энергетический комплекс - это система предприятий с технологическим оборудованием. Реакторный зал находится в главном корпусе, рядом - здание турбинного зала. Около турбинного зала располагаются сооружения для охлаждения воды: градирни, пруд-охладитель. Градирня реактора БРЕСТ-ОД-300 будет состоять из 7 ярусов, сейчас строится пятый. Диаметр у основания градирни - 79,5м, высота - 80 м, это как у 26-этажного дома. На ее возведение пойдет тысяча тонн металлоконструкций. 4000 м² будет площадь орошения. Закончить возведение всех ярусов градирни планируется в текущем году. На площадке энергетического комплекса будут находиться строения для хранения в специальных бассейнах отработавшего ядерного топлива.

Трехкилометровая зона вокруг комплекса - нежилая. Находиться в этой зоне можно, она просто обеспечивает дополнительную безопасность. Вокруг строящегося ОДЭК расположена 30-километровая зона, в которой постоянно идет отслеживание экологической ситуации. В этой зоне живут люди. Будет работать система защиты от террористических

атак. Комплекс будут охранять Внутренние войска России, которые имеют необходимое вооружение, технику и оснащение. Система охраны территории комплекса построена так, что любой нарушитель будет задержан. Пронос или провоз оружия, боеприпасов практически невозможен: на всех КПП будут установлены приборы обнаружения и видеонаблюдения.

Энергетический комплекс будет оснащен аварийными системами электроснабжения, которые включаются в случае возникновения аварийной ситуации обесточивания, не допуская такого развития событий, как в Японии на Фукусиме-1.

Комплекс будет оборудован автоматической системой контроля радиационной обстановки, которая предусматривает на всей территории комплекса наличие датчиков, фиксирующих уровень радиации в режиме реального времени. Показания этих приборов передаются на специальный сайт в Интернете.

Высоковольтные линии электропередач выведут электроэнергию, получаемую на АЭС, к потребителям.

Ядерный реактор БРЕСТ — ОД — 300 на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем

Почему возникла необходимость разработки реактора нового поколения? Проблема водо - водяных энергетических реакторов (ВВЭР) на медленных нейтронах, которые сегодня являются основными в атомной энергетике, заключается в том, что они работают на изотопе U-235, запасы которого ничтожны в земной коре, их меньше одного процента по сравнению с изотопом U — 238, которого в обогащенном уране 95%, но он не участвует в цепной реакции.

По завершению топливного процесса весь не выгоревший U-235, весь не участвующий в цепной реакции U-238, а также минорные актиниды, как побочный продукт ядерной реакции, уходят на длительное хранение как отработавшее ядерное топливо. Ученые считают, что через 100 лет запасы урановой руды иссякнут на земле, при том, что используется всего 0,7% энергетического потенциала добываемого уранового сырья и возникает проблема огромных запасов отработавшего ядерного топлива, хранение которых стоит больших денег. В мире сегодня работают 449 мирных промышленных атомных реакторов и еще 60 строятся, и уже накопилось свыше 400 тысяч тонн отработавшего ядерного топлива. Данные проблемы должна решить разработка ядерного реактора на быстрых нейтронах, который будет работать на смешанном нитридном уран-плутониевом топливе, получаемом из отработавшего топлива и обедненного урана. Ученые считают, что

после перехода ядерной энергетики к применению реакторов на быстрых нейтронах, будет использоваться свыше 90% энергетического ресурса урана.

Всего в мире было построено 11 реакторов на быстрых нейтронах: три в Германии, два в России, два во Франции, по одному в США, Японии, Казахстане и Англии. В Германии один из них так и не был запущен. Еще восемь уже остановлены. Работающих осталось два на Белоярской АЭС в России: БН — 600 и БН — 800. Существует немного химических элементов, которые можно использовать в качестве теплоносителя в реакторах на быстрых нейтронах. Это натрий, свинец, висмут, ртуть. *В реакторах типа БН используется натрий в качестве теплоносителя.* Но практика показала, что у этого типа реакторов нет никаких преимуществ перед водными ядерными реакторами. Натрий вступает в реакцию с водой и воздухом: он взрывоопасен. При строительстве таких реакторов требуется тщательная изоляция натрия от воды и воздуха.

Поэтому эти реакторы трехконтурные: в первом контуре находится радиоактивный натрий, во втором — чистый натрий, в третьем — вода, которая снимает тепло со второго контура. Эти реакторы сложны и дороги в исполнении. Перспектив серийного выпуска для использования за рубежом этот тип реакторов тоже не имеет, так как нарабатывает плутоний оружейного качества. МАГАТЭ не допустит его распространение в мире. В России используются также ядерные реакторы на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем. Это реакторы малой мощности, на них работают атомные подводные лодки.

БРЕСТ расшифровывается как «**Быстрый Реактор Естественной безопасности**». Этот ядерный реактор на быстрых нейтронах был разработан учеными несколько лет назад. В качестве теплоносителя здесь используется свинец.

Выбор свинца обусловлен следующими его свойствами:

- ✓ В отличие от воды, которая замедляет нейтроны, свинец не будет их замедлять;
- ✓ Свинец не токсичен, низко химически активен, не взаимодействует с водой и воздухом, что исключает пожары и взрывы;
- ✓ Это достаточно дешевый металл.

Из недостатков - у него высокая температура плавления - 327 °С, поэтому разогрев реактора займёт несколько месяцев. Это удорожает всю конструкцию.

Химическая активность свинца не высокая, но при температуре свыше 400 °С в бескислородной среде свинец вступает в реакцию со сталью: начинает ее проедать.

Чтобы решить эту проблему, были разработаны более прочные стальные сплавы. Но только длительная работа реактора покажет, как будет себя вести свинцовая коррозия. Расплавленный свинец не вступает в бурную реакцию с водой, но если в него попадет вода, то может произойти «паровой взрыв».

Хотя экспериментальные исследования позволяют предположить, что даже в случае разрыва трубы с теплоносителем, и попадания воды в свинец, взрыва произойти не должно. Ученые считают, что в случае аварийного прорыва, свинец застынет, и большого ущерба реактору не будет нанесено.

Для достижения технологической безопасности реактора используются следующие средства:

- ✓ Низкое давление внутри реактора БРЕСТ устраняет опасность взрыва. В случае аварии активная зона опустится на дно реактора и произойдет ее естественная консервация: она накроется сверху толстым слоем свинца, который похоронит радиацию. Свинец является одним из лучших поглотителей ионизирующего излучения. Здесь невозможны аварии чернобыльского типа;
- ✓ Отвод остаточного тепла при потере охлаждения к конечному поглотителю — атмосферному воздуху с естественной циркуляцией. Становятся невозможными аварии фукусимского типа - теплоотводные аварии;
- ✓ Жидкометаллический теплоноситель с высокой температурой кипения.

БРЕСТ — ОД — 300 — это двухконтурный реактор. Вода второго контура будет снимать тепло со свинца в первом контуре, колонка парогенератора будет погружена в расплавленный свинец. Корпус парогенератора будет иметь повышенную прочность, но только практика покажет, как он поведет себя при длительном нахождении в расплавленном свинце.

Реактор в процессе работы будет выжигать U-238, нарабатывая плутоний -239, который потом будет использоваться как топливо в реакторах на быстрых нейтронах и в тепловых реакторах. БРЕСТ также будет дожигать высоко опасные элементы — минорные актиниды. Это позволит получить почти неиссякаемый запас топлива для атомных станций — замкнуть ядерный топливный цикл. Такая схема атомной энергетики является перспективной в условиях дефицита U- 235, на котором сегодня работает 90% ядерных реакторов.

Проблему снижения объема отработавшего ядерного топлива может решить только реактор нового типа, работающий по замкнутому ядерному топливному циклу.

Ядерный реактор «БРЕСТ-ОД - 300» отвечает принципам естественной безопасности, потому что безопасность обеспечивается не за счет усложнения конструкции и повышения требований к персоналу, а благодаря максимальному использованию законов природы и природных свойств материалов.

Обычно в качестве демонстраторов технологии используют реакторы небольшой мощности – 10-50 МВт. Но в данном случае малая мощность не позволит показать концепцию «естественной безопасности». И замкнутый топливный цикл не получится, так как достигнуть коэффициента воспроизводства даже в единицу на таком маленьком образце не удастся.

Поэтому и появился план строительства реактора БРЕСТ- ОД мощностью 300 МВт с комплексом переработки отработавшего ядерного топлива. Мощность реактора в триста мегаватт позволит производить столько же топлива, сколько он будет потреблять. Один раз загруженный реактор «БРЕСТ» будет работать, потребляя им же выработанное ядерное топливо.

В настоящее время на строительной площадке ОДЭЖ устанавливается опорная плита для реактора «БРЕСТ-ОД-300». Ее диаметр - 21,7 м, толщина 30 см, она состоит из двух половин. В декабре 2022 года запущен стенд для испытания главного циркуляционного насоса. Сам насос поступит в 2023 году.

В плавильные печи уже загружено 4 тонны свинца. Впервые в мире расплав свинца станет теплоносителем в реакторной установке. К моменту поставки опытного насосного агрегата надо будет расплавить 600 т свинца, идентичного тому, который планируется применять в реакторе «БРЕСТ». На химкомбинат уже поступило свыше 400 тонн свинца. Печи будут работать в режиме плавления несколько месяцев.

К 2035 году российская атомная энергетика должна стать двухкомпонентной: будут работать как ядерные энергетические реакторы на тепловых нейтронах, так и ядерные реакторы на быстрых нейтронах.

Заводы по переработке и фабрикации/рефабрикации отработавшего ядерного

Технологии промышленной переработки отработавшего ядерного топлива есть только в России и Франции. Отработавшие топливные сборки остужают в специальных бассейнах в течение нескольких лет. Потом из отработавшего ядерного топлива на

перерабатывающих заводах выделяют оставшийся уран, плутоний и не выгоревшие актиниды.

Все эти элементы будут использоваться повторно: из них получают новое ядерное топливо для БРЕСТА - СНУП — топливо. Это смешанное нитридное уран — плутониевое топливо, смесь изотопов плутония - 239, U-238 и высокоопасных минорных актинидов, к этой смеси добавляется свежий U – 238. Главный недостаток нитридного уран-плутониевого топлива — это самовоспламеняемость на воде и в воздухе.

Топливные таблетки СНУП получают путем обжига смеси оксидов плутония и урана с сажей в азоте при температуре 1600° С. Затем получившуюся керамику измельчают, прессуют в таблетки и еще раз обжигают для однородности. Переработка отработавшего ядерного топлива происходит в пристанционном модуле фабрикациии/рефабрикациии топлива, то есть отходы не надо куда -то везти. Долгоживущие минорные актиниды в составе регенерированного топлива опять возвращаются в реактор для дожигания. Массы и изотопные составы плутония и минорных актинидов в загружаемом и отработавшем, выгружаемом, топливе практически совпадают, выгорает лишь U-238. При изготовлении нового топлива в массу добавляется свежий U – 238.

Экспериментальные тепловыделяющие сборки с оболочками из разной стали различной конструкции со СНУП-топливом, изготовленным по разным технологиям, уже проходят испытания на Белоярской АЭС в реакторе БН-600. После-реакторные исследования показали, что все сборки сохранили целостность, не произошло ни одной разгерметизации оболочек тепловыделяющих элементов. В ходе испытаний была достигнута нужная глубина выгорания ядерного топлива. Всего на Сибирском химическом комбинате разработаны, изготовлены и установлены на испытания в реактор БН-600 15 тепловыделяющих сборок со СНУП-топливом.

Модуль производства/переработки ядерного топлива может работать как с продуктами переработки отработавшего ядерного топлива, так и с природным ураном. Модуль фабрикациии СНУП — топлива для БРЕСТА планируется ввести в эксплуатацию в 2024 году. Чтобы завод запустить, сначала нужно получить отработавшее ядерное топливо в достаточном количестве. В 2029 году первое, выгруженное из реактора топливо, будет переработано на заводе фабрикациии/рефабрикациии ядерного топлива.

ТВС с отработанным топливом после выгрузки из активной зоны реактора помещаются во внутриреакторное хранилище, где охлаждаются в течение 1 года, а потом направляются на переработку. Выгоревшие тепловыделяющие элементы сначала будут растворять в серной кислоте, потом наряду с ураном и плутонием планируется выделять из

отработавшего топлива редкие изотопы тяжелых элементов, которые применяются в промышленности, науке и в медицине. Переработка отработавшего ядерного топлива и изготовление новых тепло — выделяющих сборок будет длиться тоже 1 год. Через 3 года в реактор будут загружаться новые тепло — выделяющие сборки из собственного регенерированного (восстановленного) топлива. Уже к началу 8 года реактор будет загружен только регенератом собственного облученного топлива с добавкой обедненного урана. Минорные актиниды будут дожигаться в реакторе несколько раз, что уменьшит их период полураспада до 100-300 лет. Включение в состав ядерного топлива изотопа U-238 позволит ядерной энергетике не разрабатывать новые урановые месторождения, так как урана уже добыто столько, что его хватит на два тысячелетия при существующем темпе потребления.

Производство по подготовке радиоактивных отходов к удалению из технологического процесса

На площадке ОДЭК рядом с реактором, машинным залом и всеми пристанционными сооружениями для переработки ОЯТ и изготовления новых ТВС располагается хранилище для длительной - в течение 150-300 лет - контролируемой выдержки радиоактивных отходов. Не использованные продукты деления из радиоактивных отходов перед их окончательным захоронением помещаются на длительную выдержку, находящуюся под постоянным контролем. Потом эта масса расплавляется в печи, из полученной жидкой массы варят стекло, которое помещают в специальные хранилища. При этом природный радиационный баланс Земли не будет нарушаться.

1.3 Преимущества атомных станций, работающих по технологии замкнутого ядерного топливного цикла

Главный аргумент при работе с «радиофобией» населения заключается в том, что радиационная безопасность окружающей среды гарантируется не техническими средствами и способами, а самим отсутствием радиоактивности сверх имеющихся уже природных уровней.

Экологическая безопасность при замкнутом топливном цикле обеспечивается за счет применения технологий регенерации и рефабрикации ядерного топлива.

Ввод в действие энергетического комплекса в г. Северске будет иметь следующие последствия для экологии, населения и атомной промышленности:

- ✓ При любых авариях, в том числе диверсиях, не будет требоваться эвакуация населения. Низкое давление внутри реактора БРЕСТ устраняет опасность взрыва. Свинец является одним из лучших поглотителей ионизирующего излучения;
- ✓ Реактор «БРЕСТ-ОД-300» - это реактор — бридер, он будет обеспечивать себя главным энергетическим элементом – плутонием - 239, получая его из изотопа U-238. Реакторы на быстрых нейтронах будут производить топлива больше, чем потребляют, а также дожигать с выработкой энергии минорные актиниды. Увеличится воспроизводство плутония для возврата в топливный цикл, то есть увеличится топливная база атомной энергетики;
- ✓ Энергетический потенциал природного урана будет использоваться почти на сто процентов;
- ✓ Значительно уменьшатся сроки хранения ОЯТ;
- ✓ Реакторы типа «БРЕСТ — ОД — 300» не будут производить долго распадающихся радиоактивных отходов, они будут использовать уже имеющиеся ядерные отходы для производства нового топлива. Природное радиационное равновесие не будет нарушаться. Радиоактивность отходов, которые формируются в замкнутом ядерном топливном цикле, не превысит активности природного уранового сырья. Захоронение радиационных отходов станет более безопасным для потомков;
- ✓ В реакторах типа БРЕСТ не будет нарабатываться плутоний оружейного качества, то есть будет соблюден принцип нераспространения ядерного оружия. Реакторы на быстрых нейтронах можно будет поставлять любым странам, так как на них невозможно получить сырьё для ядерного оружия;
- ✓ Использование технологии замкнутого ядерного топливного цикла позволит постепенно отказаться от применения в атомной энергетике технологий обогащения урана;
- ✓ Объемы перевозки ядерных материалов сильно сократятся. Реакторы на быстрых нейтронах не будут требовать добывать для них урановую руду в больших количествах;
- ✓ Безопасность АЭС с реакторами на быстрых нейтронах позволит строить атомные станции рядом с крупными городами, как предприятия для теплоснабжения;
- ✓ Повысится конкурентоспособность атомной энергетики по сравнению с другими способами получения энергии: ветровыми и солнечными станциями, парогазовыми установками.

Глава 2 Практическая часть. Создание макета ядерного топливного цикла

Для того, чтобы наглядно представить, как будет работать ОДЭК, и что будет находиться на ее территории, мы совместно с дедушкой (он у меня столяр) изготовили макет, на котором показаны особенности замкнутого ядерного топливного цикла в сравнении с открытым топливным циклом (см. Приложение 3).

Выводы

В начале исследования я предположил, что введение в эксплуатацию ОДЭК не будет иметь негативных последствий для населения и окружающей среды нашего региона.

Проведенное исследование показало, что эксплуатация АЭС, работающей по технологии замкнутого ядерного топливного цикла, не окажет негативного влияния на окружающую среду и не представляет опасности для населения Томской области, потому что:

- ✓ Реактор «БРЕСТ-ОД-300» при отклонении любых параметров — возникновении нештатной ситуации - самостоятельно заглушается;
- ✓ Свинцовый теплоноситель не вступает в реакцию с водой и воздухом, не требует высокого давления в контуре, поэтому исключаются аварии с пожарами и взрывами;
- ✓ Реакторы типа «БРЕСТ — ОД — 300» не будут производить долго распадающихся радиоактивных отходов, так как они будут использовать уже имеющиеся ядерные отходы для производства нового топлива. Захоронение радиационных отходов станет более безопасным для потомков.

В результате проведенного исследования пришел к выводу, что технология замкнутого ядерного топливного цикла имеет очень хорошие перспективы для использования в атомной энергетике.

Ученые считают, что через 15-20 лет атомная энергетика в России должна стать 2-компонентной: будут работать ядерные реакторы на тепловых нейтронах, которые являются основой современной атомной промышленности, и заработают реакторы на быстрых нейтронах, позволяющие замкнуть ядерный топливный цикл.

Список литературы

1. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. – Реакторы на быстрых нейтронах. - Информационный центр атомной отрасли. Москва. – 2012.
2. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. – Ядерный топливный цикл: путь урана. - Информационный центр атомной отрасли. Москва. – 2014.
3. Акатов А.А., Коряковский Ю.С. – Атомные электростанции и биосфера. - Информационный центр атомной отрасли. Москва. – 2017.
4. Видеофильм «Ядерный топливный цикл»
<https://www.youtube.com/watch?v=1lCx2xTNCpU>
5. Интервью у В. Гибалова, специалиста по ядерной и термоядерной энергетике, (блогер tenergy): <https://youtu.be/cyZ2kZYdeD8>
6. Видеофильм «Прорыв» <https://www.youtube.com/watch?v=4QVTyWmesF0&t=3s>

Анкета

1. Что вы знаете о строящемся в г. Северске опытно — демонстрационном энергетическом комплексе с ядерным реактором «БРЕСТ — ОД — 300».

Подчеркни нужное

- ничего не знаю

- что — то слышал

- я против строительства атомных станций

- иное _____

2. Как вы думаете, как отразится на населении и состоянии окружающей среды ввод в эксплуатацию опытно — демонстрационного энергетического комплекса (Атомной электростанции) в г. Северске, что находится в 25 км от Томска?

Подчеркни нужное

- никак не отразится

- уровень радиации в области повысится

- будет больше радиационных отходов, что отразится на здоровье населения

- риск аварий с утечкой радиации повысится

- иное _____

Анализ ответов показал, что ничего об этом не знают или знают очень мало 89% одноклассников и 63% студентов. При этом 86% опрошенных считают, что атомные станции очень опасны. Сделал вывод, что радиофобия распространена среди жителей нашего региона.

Примерные вопросы для интервью

1. Какие предприятия уже строятся на площадке ОДЭК?
2. Замкнутый ядерный топливный цикл — как это будет реализовано на практике в г. Северске?
3. В чем заключаются ключевые отличия реактора «БРЕСТ — ОД — 300» от реакторов на тепловых нейтронах — ВВЭР?
4. Какие виды ядерного топлива существуют?
5. Какое топливо и где будет производиться для реактора «БРЕСТ — ОД - 300»?
6. Как отразится на состоянии окружающей среды ввод в эксплуатацию ОДЭК в Северске?
7. В чем заключается принцип «естественной безопасности» при использовании технологии замкнутого ядерного топливного цикла?

Интервью у Кнышева В.В., преподавателя инженерной школы ядерных технологий в ТПУ.

https://drive.google.com/file/d/1gcqSLmWNWVTi6E005sD1c-12p2R62L7s/view?usp=share_link



Приложение 3

Участие в мероприятиях Информационного центра по атомной энергии



13 ФЕВРАЛЯ (ПОНЕДЕЛЬНИК)
ИЦАЭ ТОМСКА, ПЛ ЛЕНИНА, 8

АТОМНЫЙ ВЕЧЕР

17:00 ФИЛЬМ НО РАО «УБЕЖИЩЕ ДЛЯ АТОМА»
18:00 АДРЕНАЛИН: КУРЧАТОВ И ЕГО СОРАТНИКИ

ВХОД СВОБОДНЫЙ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ РЕГИСТРАЦИЯ

ДИПЛОМ ТИМЕРАД

настоящий диплом подтверждает, что

Александр Мельников

является зарегистрированным
участником мероприятия

Атомный вечер в ИЦАЭ Томска

Организатор ИЦАЭ Томска

Генеральный директор
Семенихина В.С.

13.02.2023

1885261845

Приложение 4

Макет топливного ядерного цикла в процессе изготовления. Окончательный макет будет продемонстрирован на конференции



Атомный словарь

Активная зона – это среда, в которой происходит цепная реакция деления ядер урана, или процесс размножения нейтронов;

Градирия – это сужающаяся кверху охладительная башня. Гидроамортизатор – гасит колебания земли;

Замкнутый ядерный топливный цикл. В замкнутом ядерном топливном цикле на радиохимических предприятиях осуществляется переработка отработанного ядерного топлива (ОЯТ) с целью возврата в цикл невыгоревшего урана-235, почти всей массы урана-238, а также изотопов плутония, образовавшихся при работе ядерного реактора;

Изотопы - это атомы одного химического элемента с разным числом нейтронов в ядре;

Ионизирующее излучение - это вид энергии, высвобождаемой атомами в форме электромагнитных волн или частиц. Люди подвергаются воздействию природных источников ионизирующего излучения, таких как почва, вода, растения, и воздействию искусственных источников, таких как рентгеновское излучение и медицинские устройства. Ионизирующее излучение имеет многочисленные полезные виды применения, в том числе в медицине, промышленности, сельском хозяйстве и в научных исследованиях. Острое воздействие на здоровье, такое как ожог кожи или острый лучевой синдром, может возникнуть, когда доза облучения превышает определенные уровни. Низкие дозы ионизирующего излучения могут увеличить риск более долгосрочных последствий, таких как рак;

Контур - это замкнутая система труб;

Коррозия — это самопроизвольное разрушение металлов под действием химического или физико-химического влияния окружающей среды. Иными словами, из-за химического воздействия железо начинает ржаветь;

Минорные актиноиды— это трансурановые элементы, кроме плутония, образующиеся при работе ядерного реактора. Практическое значение имеют изотопы нептуния, америция и кюрия, другие элементы в энергетических реакторах образуются в ничтожных количествах. Минорных актиноидов в ОЯТ содержится на порядок меньше, чем плутония. Тонна ОЯТ ВВЭР при выгорании 4% содержит примерно 10 кг изотопов плутония, 500-700 г нептуния, 600 г америция-241 (после 10-летней выдержки), 120 г америция-243, до 60 г кюрия;

Многие минорные актиноиды являются альфа-излучателями с очень большим временем полураспада: сотни, тысячи и даже миллионы лет, что делает их одними из самых опасных компонентов ОЯТ в долгосрочной перспективе;

Обогащение — промежуточное звено между добычей полезных ископаемых и использованием извлекаемых веществ. Обогащение позволяет существенно увеличить концентрацию ценных компонентов;

Оксид урана – это неорганическое химическое соединение урана с кислородом — вещество тёмно-коричневого, почти чёрного, цвета. Химическая формула UO_2 . Широко используется как ядерное топливо в реакторах;

Период полураспада — это время, за которое радиоактивное вещество естественным образом теряет половину своей радиоактивности. Таким образом, в конце 10 периодов полураспада радиоактивность вещества снижается в 1024 раза;

Плутоний-239 — радиоактивный химический элемент, образуется в любом ядерном реакторе, работающем на природном или малообогащённом уране, содержащем в основном изотоп ^{238}U , при захвате им избыточных нейтронов. Используют в качестве ядерного топлива в ядерных реакторах на тепловых и, особенно, на быстрых нейтронах; при изготовлении ядерного оружия;

Плутоний (238, 239, 240) – тяжёлый, хрупкий, высокотоксичный радиоактивный металл серебристо-белого цвета. Получен искусственно;

Радиоактивные отходы (РАО) — отходы, содержащие радиоактивные изотопы химических элементов и не подлежащие использованию, в отличие от отработавшего

ядерного топлива;

Радиофобия (от др. греч. «страх») — это комплекс нервно- психических и физиологических расстройств, иногда трудно поддающиеся лечению, выражающийся в боязни различных источников ионизирующего (радиация) и неионизирующего электромагнитного излучения;

Реактор-размножитель (бридер) — ядерный реактор, позволяющий нарабатывать ядерное топливо в количестве, превышающем потребности самого реактора. Сырьём для нового топлива служат изотопы урана - 238. Запасы этих изотопов более чем в 100 раз превосходят запасы урана-235. Для уран-плутониевого топливного цикла **размножителем** является реактор на быстрых нейтронах. При этом в зоне размножения из обеднённого урана, состоящего, в основном, из изотопа уран-238, получается плутоний-239, который может быть использован в реакторе как новое ядерное топливо;

Регенерированное топливо - это восстановленное урановое топливо, изготавливается из регенерированного урана, выделяемого при переработке ОЯТ промышленных, транспортных или энергетических реакторов;

Сейсмостойкая территория – отсутствие угрозы землетрясений;

Технологический цикл — это суммарное время выполнения всех технологических операций данного технологического процесса. Топливная таблетка весит всего четыре с половиной грамма, но в ней скрыта огромная энергия. По энерговыделению она эквивалентна 640 кг дров, 400 кг каменного угля, 360 куб. м газа, 350 кг нефти.

Трансмутация - это превращение одного объекта в другой;

Фабрикация/рефабрикация топлива - единый модуль фабрикации и рефабрикации топлива позволяет работать как с исходными материалами, так и с продуктами переработки ОЯТ реактора БРЕСТ-ОД-300, а также предусматривает включение в топливо минорных актинидов для последующей их трансмутации;

Химический элемент — это определённый вид атомов. Атомы разных химических элементов отличаются массой, размерами, строением и свойствами. Это совокупность

атомов, которые характеризуются одинаковым зарядом ядра и числом протонов, совпадающих с порядковым (атомным) номером в таблице Менделеева. В настоящее время известно 118 химических элементов;

Цепная ядерная реакция - это лавинообразный процесс деления ядер урана. Число нейтронов постоянно растет, и все больше и больше атомов делится. В результате получаем самоподдерживающуюся цепную ядерную реакцию. Скорость деления ядер надо держать под контролем, потому что если выделится слишком много энергии, может произойти взрыв;

Циркуляция — это движение по замкнутому маршруту, замкнутой траектории, с периодическим возвращением в пройденные ранее точки;

Ядерная реакция - это деление атомов нейтронами.

Сокращения

АЭС – атомная электростанция

БН – быстрый натриевый

БРЕСТ - ОД – 300 – Быстрый реактор со свинцовым теплоносителем

ВВЭР – водо – водяной энергетический реактор

ИЦАЭ – информационный центр по атомной энергетике

МВД – министерство внутренних дел

ОДЭК – опытно-демонстрационный энергетический комплекс

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо

СНУП-топливо – смешанное нитридное уран-плутониевое топливо

МОХ — топливо — смешанное уран — плутониевое оксидное топливо

ТВС – тепловыделяющая сборка

ТВЭЛ – тепловыделяющие элементы

САО – среднеактивные радиоактивные отходы

НАО – низкоактивные радиоактивные отходы

РАО — радиоактивные отходы

МАГАТЭ - Международное агентство по атомной энергии