

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U$  у всех ламп незначительный: лампа Feron,  $K_U = 0,031$  %; лампа Smartbuy,  $K_U = 0,042$  %; лампа ETR,  $K_U = 0,044$  %; лампа Philips,  $K_U = 0,031$  %. Полученные данные не превышают максимальные значения нормированные в ГОСТ 32144–2013.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  у всех ламп составляет: лампа Feron,  $THD_I = 68,91$  %; лампа Smartbuy,  $THD_I = 70,64$  %; лампа ETR,  $THD_I = 74,11$  %; лампа Philips,  $THD_I = 68,23$  %. ГОСТ 32144–2013 не нормирует суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  в процентном отношении.

#### Литература

1. Евминов, Л. И. Сравнительный анализ различных источников света и оценка электромагнитной совместимости безэлектродных (индукционных) и светодиодных источников света / Л. И. Евминов, В. С. Кизева // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2013. – № 1.
2. Светодиодные лампы. Их преимущества и сфера использования. – Режим доступа: <https://www.maxcom.by/article/2018/05/28/svetodiodnye-lampy-ih-preimushchestva-i-sfera-ispolzovaniya>. – Дата доступа: 15.03.2022.
3. Преимущества и недостатки светодиодных ламп. – Режим доступа: [https://lu.ru/stati/preimuwestva\\_i\\_nedostatki\\_svetodiodnyh\\_lamp/](https://lu.ru/stati/preimuwestva_i_nedostatki_svetodiodnyh_lamp/). – Дата доступа: 15.03.2022.
4. Оценка режимов осветительных электрических сетей объектов ЖКХ со светодиодными источниками света / Ф. П. Говоров [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – № 11 (186). – С. 92–97.
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ30804.3.2–2013 (IEC 61000-3-2:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. (IEC 61000-3-2:2009, MOD). – М. : Стандартинформ, 2014.

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Е. В. Таранко, З. В. Ковганов

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель Н. А. Попкова

В современном мире все больше внимания уделяется минимизации влияния человека на окружающую среду. В сфере энергетики остро стоит вопрос, в пользу какого источника электроэнергии делать выбор. Исследовав различные виды производства электрической энергии, можно прийти к выводу, что атомная энергетика позволяет получать максимальное количество электроэнергии, используя минимальный объем топлива, при этом избегая выделения вредных побочных продуктов. Помехой перехода на ядерную энергию является отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), которое впоследствии рассматривают как радиоактивные отходы (РАО). Целью настоящего исследования стал поиск оптимального пути сокращения влияния ОЯТ на окружающую среду. В ходе исследования были поставлены задачи:

- 1) выявить преимущества и недостатки ядерных топливных циклов (ЯТЦ);
- 2) изучить возможность повторного использования компонентов ОЯТ;
- 3) сравнить методики обращения с ОЯТ разными странами;
- 4) рассчитать остаточное тепловыделение ядерного топлива.

Атомная электрическая станция (АЭС) производит электрическую энергию за счет энергии расщепления атомов урана. Тепловая энергия, высвобождающаяся при делении, используется для создания пара, который вращает турбину для выработки электроэнергии без вредных побочных продуктов, которые выделяет ископаемое топливо. Если рассматривать альтернативные источники энергии, которые практически не загрязняют атмосферу, можно заметить, что они уступают АЭС по единичной установленной мощности. Кроме того, солнечная энергия, необходимая для работы солнечных панелей, не поступает на их поверхность круглосуточно, а скорость ветра не всегда соответствует требуемым значениям, позволяющим эффективно вырабатывать энергию. АЭС требуют относительно небольшой объем топлива, занимают мало места, а при правильном использовании являются безопасными.

Но все же, последствия функционирования ядерного реактора существуют, и на них нельзя закрывать глаза. В результате его работы образуется ОЯТ. Некоторые страны опасаются его транспортировки, хранения и утилизации. В связи с этим в Италии, Испании, Бельгии, Швейцарии осуществляется политика отказа от ядерной энергетики. Однако там, где работа этой отрасли налажена, решается вопрос, как поступить с ядерными отходами. Существует два подхода к ОЯТ:

1. США, Канада, Финляндия, Швеция относят извлеченное из реактора ядерное топливо к радиоактивным отходам и оставляют его в специальных хранилищах.

2. Россия, Франция, Япония, Индия, Англия рассматривают ОЯТ как потенциальное энергетическое сырье и разрабатывают технологии переработки и повторного использования.

В разомкнутом цикле извлеченное из реактора топливо поступает на хранение или захоронение. Захоронение – заключительный этап обращения с радиоактивными отходами. Он нужен для того, чтобы обеспечить безопасность для человека и окружающей среды; отходы размещаются там, где они гарантированно будут изолированы. Существуют различные варианты захоронения, которые зависят от объемов, характеристик отходов, особенностей законодательства страны и геологической структуры территории.

Две страны, решившие реализовывать программы окончательного геологического захоронения, – Финляндия и Швеция – вообще не рассматривают возможность извлечения из ОЯТ, рассматривая их как радиоактивные отходы, постепенно избавляясь от них. Например, в Швеции ОЯТ сначала находится в промежуточном хранилище на глубине 30 м под водой около 40 лет. Затем ОЯТ должно быть поднято и перемещено на инкапсуляцию, а после этого – в геологическое хранилище для окончательного захоронения. Уже там ОЯТ будет находиться 100 тысяч лет.

В Финляндии ОЯТ из реактора перемещают в резервуары, где тепловыделяющие сборки (ТВС) охлаждаются от 1 года до 5 лет, а после этого они доставляются во временное хранилище. Тепловыделяющие сборки в процессе транспортировки всегда полностью погружены в воду, которая служит для охлаждения ОЯТ и защиты окружающей среды от радиации. В итоге радиоактивные отходы будут помещены в расположенное в коренной породе долговременное хранилище, где имеются отдельные бункеры для отходов среднего и низкого уровня активности.

Изначально в ядерном топливе содержится 2 изотопа урана:  $^{238}\text{U}$  – 97 %,  $^{235}\text{U}$  – 3 % (рис. 1) [2]. После его облучения в реакторе образуются высокоактивные отходы, которые составляют около 3 %. При распаде количество урана-235 в составе топлива снижается до 1 %. То есть ОЯТ представляет собой источник ценных изото-

пов урана и плутония. Так как запасы природного урана не бесконечны, возникла идея использовать ОЯТ повторно, но для этого необходимо применить особые технологии и перейти к замкнутому ядерному топливному циклу.

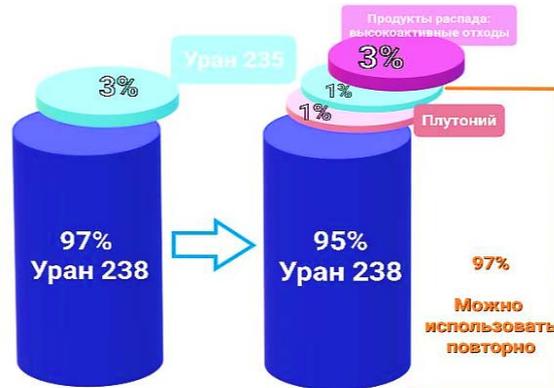


Рис. 1. Состав ядерного топлива до (слева) и после (справа) использования

Повторное использования ОЯТ расширяет топливную базу атомной энергетики и существенно снижает объем радиоактивных отходов. Самые передовые исследования в данной области осуществляются корпорацией «Росатом» в России, чтобы в перспективе полностью замкнуть топливный цикл. Предполагается, что добытое из урановой руды и отработавшее в реакторе топливо будет многократно перерабатываться и снова использоваться на АЭС.

На данный момент российские специалисты предлагают частичную переработку ОЯТ-реакторов на тепловых нейтронах. Созданы следующие технологии: MOX-топливо (от англ. Mixed-Oxide fuel) и REMIX-топливо (от англ. Regenerated Mixture). MOX-топливо получают смешиванием выделенного из ОЯТ плутония с природным ураном. Это позволяет экономить уран – его используется на 12 % меньше. Изготовление REMIX-топлива несколько отличается: оно производится из уран-плутониевой смеси ОЯТ, куда добавляют обогащенный уран. Данная технология позволит уменьшить потребление природного урана на 20–25 %. Обе технологии позволяют извлечь из ядерного топлива почти на 30 % больше энергии, чем в однократном топливном цикле. Очевидно, что сократится и объем отходов, будет быстрее спадать их активность.

Выше упоминалось, что ОЯТ должно некоторое время храниться в бассейнах выдержки. Это необходимо, так как после остановки реактора даже вне цепной реакции продолжается тепловыделение за счет распада накопленных продуктов деления. Такая особенность ОЯТ создает технически сложные проблемы. Чтобы с ними справиться, нужно произвести расчет остаточного тепловыделения по следующей формуле:

$$\frac{W(t)}{W_0} = 0,002(t^{-0,2} - (t + t_0)^{-0,2}),$$

где  $W(t)$  – тепловая мощность кассет после прекращения реакции деления в активной зоне реактора, кВт;  $W_0$  – тепловая мощность кассет в активной зоне реактора, кВт;  $t$  – время выдержки кассет после прекращения реакции деления в активной зоне реактора, лет;  $t_0$  – время работы кассет в активной зоне реактора, лет.

Рассмотрим пример на реакторе ВВЭР-1000. Его тепловая мощность составляет 3000 МВт, при этом в активной зоне находится 163 тепловыделяющих кассеты. Срок, на протяжении которого происходит постоянная выработка тепла, составляет 3 года для каждой кассеты. Каждый год заменяется 54–55 кассет с тепловой мощностью 1000 МВт (треть активной зоны реактора). В таблице приведена тенденция уменьшения выделения тепла выгруженных кассет после их работы в реакторе с течением времени.

**Зависимость тепловой мощности отработавшего ядерного топлива  
от времени выдержки кассет**

$t_0$ , лет	0,5	1	2	5	8	15	25	50	100
$W$ , кВт	740,7	484,3	291,5	130,1	81,4	41,7	23,5	10,6	4,7

В результате исследования мы пришли к выводу, что результаты работы АЭС, хотя и представляют экологическую опасность, при правильном использовании могут принести пользу. Особенно в условиях исчерпания топливно-энергетических ресурсов переработка ОЯТ как никогда актуальна.

Литература

1. Готовский, М. А. Ядерная энергетика : учеб. пособие / М. А. Готовский. – СПб. : СПбГТУРП, 2007. – 55 с.
2. Japan as a Plutonium Superpower // The Asia-Pacific Journal: Japan Focus. – 2007. – Режим доступа: <https://apjif.org/-Gavan-McCormack/2602/article.html>. – Дата доступа: 28.03.2022.

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ: ПРОБЛЕМЫ,  
РЕШЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ БЕЗОПАСНОСТИ**

**Д. Е. Коновалов А. В. Ковзик**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Г. И. Селиверстов

Система контроля и управления доступом (СКУД) сама по себе не закрывает все проблемы безопасности предприятий и организаций, вопреки мнению большинства, СКУД дает возможность для решения некоторых проблем. При закупке готового комплекта систем безопасности и пропуска, нужно быть готовыми к неизбежным проблемам и сложностям. Смело можно сказать, что основная проблема – подключение и работа с интерфейсом. Однако есть множество других вопросов, на которые стоит обратить внимание и решать их соответственно. Итак, выделим некоторые проблемы, связанные со СКУД.

**Безотказная работа и доступность.** Большинство предприятий и организаций работают в режиме нон-стоп, соответственно, оборудование для обеспечения контроля доступа и безопасности должно удовлетворять требования предприятия. Система контроля и управления доступом охватывает огромное количество людей. И в традиционных системах безопасности необходимо практически на постоянной основе поддерживать связь между системой и пользователем, для максимального исключения простоев в рабочем процессе, прибегая к методам рассылки сетевых уведомлений или СМС с целью информирования сотрудников.