

**Методические подходы к расчету стоимости топливной составляющей
электроэнергии для реакторов типа ВВЭР-1200.**

Научный руководитель – Силенко Аркадий Николаевич

Бровцев Вадим Вадимович

Студент (магистр)

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

E-mail: v.brovitsev@gmail.com

С увеличением мирового ВВП и ростом численности населения планеты возрастает потребность в электроэнергии. На сегодняшний день топливом для генерации электроэнергии можно считать: биомассу, включая дрова и отходы, уголь, газ, нефть, уран, природные ресурсы, включая Солнце, гидроресурсы планеты и потоки ветра. С развитием человечества наблюдается увеличение доли ресурсов, соответствующих требованиям технологичности, энергоэффективности и экологичности, а так же наблюдается тенденция роста доли возобновляемых энергетических ресурсов.[4]

Долгосрочные прогнозы свидетельствуют о том, что исчерпаемых ресурсов при темпе роста мирового ВВП в 2,8% в год хватит на 100 лет.[1] А возобновляемые источники энергии не смогут восполнить дефицит в предложении электроэнергии на рынке. Это связано с их нестабильностью ввиду непостоянства погодных условий и отсутствия технологий накопления большого количества электроэнергии в стабильном состоянии. Эксперты выделяют атомную отрасль как самую перспективную, в том числе из-за ее ресурсообеспеченности «дешевым» ураном на ближайшие 40 лет. Развитие ядерных энергетических технологий позволяет говорить о наличии достаточной ресурсной базы, источниками которой являются[3]:

- залежи урана (по классификации МАГАТЭ), отнесенные к категориям EAR-I, EAR-II;
- уран, содержащийся в морской воде;
- наработанный плутоний (в случае перехода на уран-плутониевый топливный цикл);
- запасы тория (при реализации уран ториевого топливного цикла).[3]

Однако российская атомная отрасль строит один энергоблок АЭС в среднем три года [2], а это означает, что о будущем атомной энергетики и конкурентного преимущества на мировом рынке нужно уже думать сегодня. Конкурентное преимущество выражается в цене стоимости электроэнергии, которая зависит от многих факторов, включая стоимость топливной кампании, которая зависит от стратегии отрасли в обращении с облученным (отработавшим) ядерным топливом (далее - ОЯТ).

Существуют два вида топливного цикла: открытый и замкнутый. Открытый цикл подразумевает последующее захоронение ОЯТ после выгрузки из реактора, а замкнутый цикл позволяет возвращать часть ОЯТ обратно в реактор. В отдельных государствах (США, Швеция, Канада, Испания, Финляндия) ОЯТ абсолютно относят к радиоактивным отходам (далее - РАО) и придерживаются открытого цикла. В России, Англии, Франции, Японии относят к энергетическому сырью и соответственно частично применяют замкнутый цикл.[6]

Модели оценки стоимости топливной составляющей стоимости электроэнергии используют подходы в соответствии с существующей стратегией обращения с топливом. Они нужны для понимания, как формируется стоимость электроэнергии и соответственно ее

возможного снижения. Для оценки берется водо-водяной энергетический реактор с мощностью 1200 МВт (далее ВВЭР-1200). В открытом цикле стоимость складывается из следующих параметров:

1. Стоимость front-end:
 - стоимость добычи природного урана, включая конверсию;
 - стоимость работы раздления;
 - стоимость отвала;
 - стоимость фабрикации топлива[7];
2. Стоимость захоронения ОЯТ.

В замкнутом топливном цикле на примере РЕМИКС-топлива для ВВЭР-1200 стоимость складывается из следующих параметров:

1. Стоимость front-end:
 - стоимость добычи природного урана, включая конверсию;
 - стоимость работы раздления;
 - стоимость отвала;
 - стоимость фабрикации топлива;
2. Стоимость back-end (возврат ОЯТ обратно в реактор), куда входит:
 - стоимость переработки ОЯТ с получением разделенных компонент РАО и регенераторов урана и плутония;
 - стоимость обращения с РАО[5].;
3. Стоимость топливной добавки из обогащенного природного урана;
4. Стоимость фабрикации регенерированного топлива.

В настоящее время запасы дешевого природного урана (со стоимостью добычи ниже 80 \$/кг) ещё позволяют ядерной энергетике существовать и развиваться, однако навечно его не хватит. Топливный ресурс ядерной энергетике может возрасти за счет многократного рециклирования уран-плутониевого топлива (и полной переработки накопленного и будущего ОЯТ) почти в три раза по сравнению с ресурсами природного урана по известной себестоимости добычи (до 260 долл./кгU). То есть технологии по замыканию ядерного топливного цикла являются перспективными, так как позволяют существенно экономить природный уран и с развитием технологий по переработке ОЯТ снизить себестоимость топливной составляющей электроэнергии полученной на АЭС. [5]

Источники и литература

- 1) Бриллиантова, В. В., Галкин, Ю. В., Галкина, А. А., Григорьев, Л. М., Грушевенко, Д. А., Грушевенко, Е. В., ... & Козина, Е. О. (2019). Прогноз развития энергетики мира и России 2019.
- 2) Кочергин Д. А. Проект АЭС с двумя блоками ВВЭР-1200. – 2019.
- 3) Осецкая М. М., Алленых М. А. Разработка методики формирования топливной составляющей себестоимости электроэнергии АЭС //Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2017. – №. 6.
- 4) Соколова И.Д. Обеспеченность мировой ядерной энергетике природным ураном // Атомная техника за рубежом. – 2015. – № 3. – С. 3–13.
- 5) Ульянин Ю. А., Харитонов В. В., Юршина Д. Ю. Перспективы ядерной энергетике в условиях исчерпания традиционных энергетических ресурсов //Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2017. – №. 4. – С. 5-16.
- 6) Ульянин Ю.А., Харитонов В.В., Юршина Д.Ю. Прогнозирование динамики исчерпания традиционных энергетических ресурсов. Проблемы прогнозирования, 2018, №2, с.60.

- 7) Zhang J., Liu Z., Wang L. Uranium demand and economic analysis of different nuclear fuel cycles in China //Energy Strategy Reviews. – 2016. – Т. 9. – С. 50-61