МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

Институт Ядерной Физики и Технологий

Кафедра № 5

«Теоретической и экспериментальной физики ядерных реакторов»

Домашнее задание по курсу:

**«Экономика ядерно-топливного цикла»**

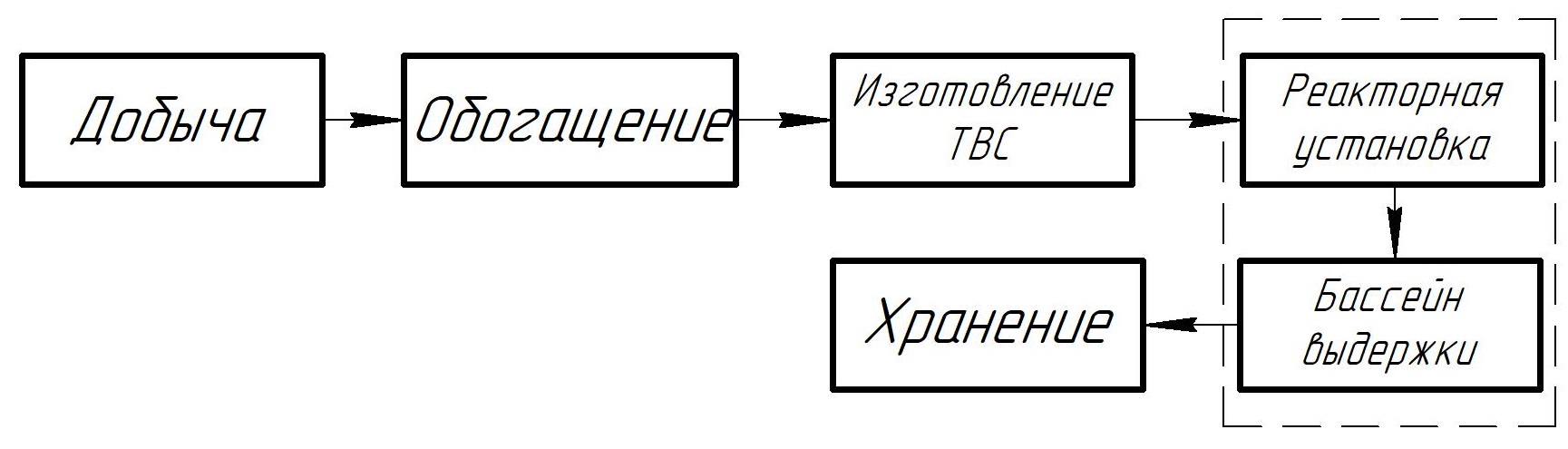
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы С14-105: | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Голов П.А. |
| Проверил: | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | Гераскин Н.И. |

Москва 2018 г.

## 1. Экономический расчет АЭС с тепловым реактором ВВЭР-1000

## 1.1 Топливный цикл без регенерации топлива

Схема открытого топливного цикла представлена на рисунке 1.1.



**Рисунок 1.1** – Принципиальная схема открытого топливного цикла для реактора ВВЭР-1000

Отпущенная электрическая энергия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.1) |

Накопление осколков деления:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.2) |

Ежегодный расход топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.3) |

Доля Pu в выгружаемом топливе:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.4) |

Накопление товарного Pu239 в год с учетом химической переработки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.5) |

Полное накопление товарного Pu239:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.6) |

Коэффициент возврата в цикл:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.7) |

Коэффициент расхода природного урана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.8) |

Ежегодная потребность в природном уране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.9) |

Ежегодная потребность в U235:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.10) |

Экономический коэффициент воспроизводства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.11) |

Кампания топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.12) |

Полная потребность в топливе:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.13) |

Полная потребность в природном уране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.14) |

Ежегодное накопление отвального урана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.15) |

Полное накопление отвального урана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.16) |

Потенциалы разделения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.17) |
|  | (1.1.18) |
|  | (1.1.19) |

Удельная работа разделения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.20) |

Топливная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.21) |

Амортизационная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.22) |

Составляющая зарплаты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.23) |

Себестоимость отпущенной энергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.24) |

Цена топлива:

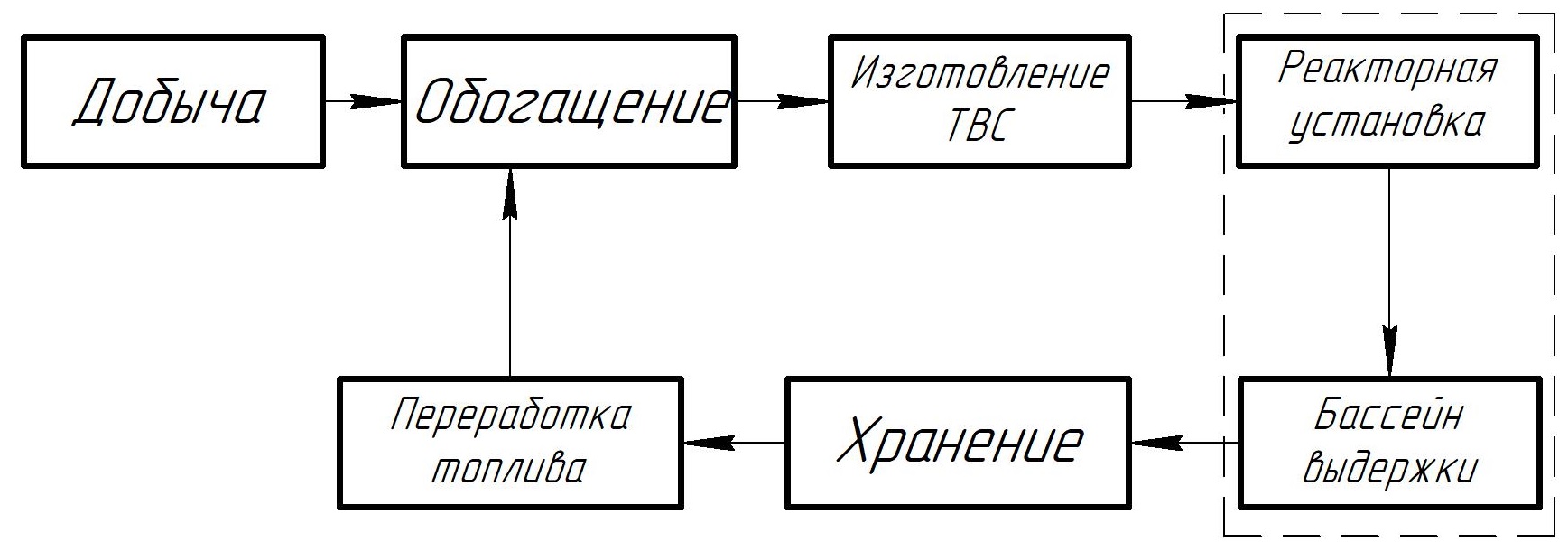
|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.25) |

Приведенные затраты на электроэнергию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1.26) |

## 1.2 Топливный цикл с регенерацией топлива

Схема замкнутого топливного цикла представлена на рисунке 1.2.



**Рисунок 1.2** – Принципиальная схема замкнутого топливного цикла для реактора ВВЭР-1000

Длительность топливного цикла:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.1) |

Ежегодная потребность в природном уране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.2) |

Ежегодная потребность в U235:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.3) |

Цена обогащенного до 95% U235:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | (1.2.4) |
|  | (1.2.5) | |
|  | | (1.2.6) |
|  | | (1.2.7) |

Цена Pu239:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2.8) |

Топливная составляющая себестоимости:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | (1.2.9) | |
|  | |  |
| |  |  | | --- | --- | |  |  | | |  |

Таким образом, сравнивая топливные составляющие двух циклов, видно, что топливная составляющая себестоимости для топливного цикла с регенерацией превышает топливную составляющую себестоимости для топливного цикла без регенерации:

Значит, с точки зрения экономики, не выгодно замыкать топливный цикл.

## 2. Расчет ТЭС

Отпущенная электрическая энергия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

Ежегодный расход топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

где = 0,86 – отношение калорийности кузнецкого угля и условного топлива (уголь кузнецкого бассейна с теплотой сгорания ≈ 5800 ккал/кг)

Полная потребность в топливе:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

Амортизационная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |

Составляющая зарплаты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.5) |

Найдем цену органического топлива из условия равенства приведенных затрат для АЭС и для ТЭС.

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.6) |

Из формулы (2.6) была найдена себестоимость отпущенной энергии. Себестоимость отпущенной энергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.7) |

Из формулы (2.7) находим топливную составляющую себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.8) |

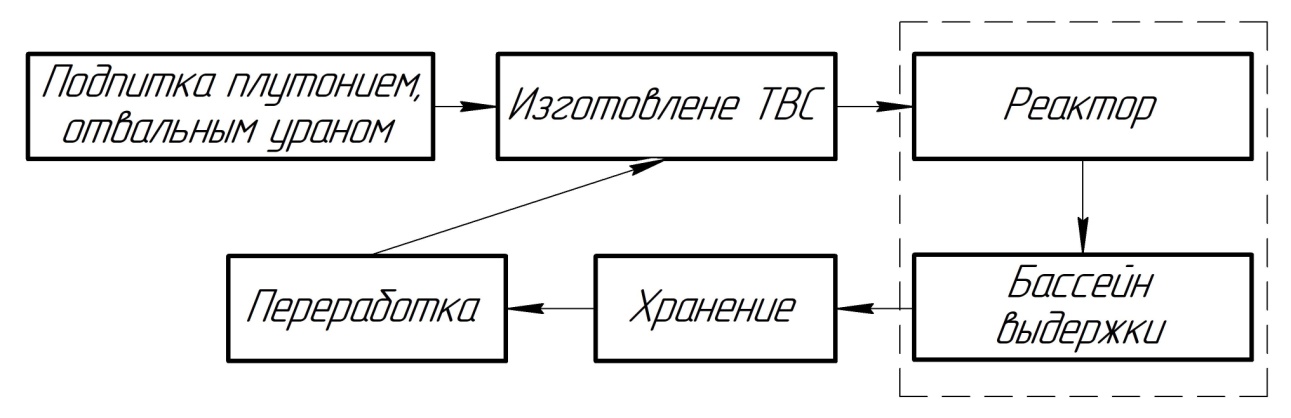
Стоимость угля, при которой АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 может конкурировать с угольной ТЭС:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.9) |

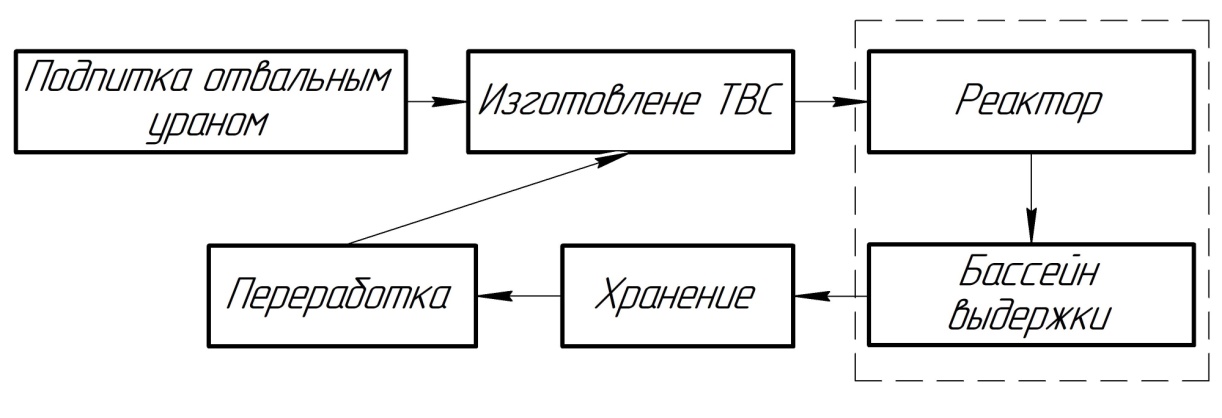
Цена за тонну угля кузнецкого бассейна марки ТО[2] с учетом доставки на 4000 км[1] составляет 108,3 , что больше, чем полученная выше цена органического топлива, следовательно, строительство ТЭС менее выгодно, чем строительство АЭС с ВВЭР-1000.

## 3. Экономический расчет АЭС с быстрым реактором (бридер)

Схема топливного цикла для активной зоны и торцевых экранов представлена на рисунке 3.1, а для боковых экранов – на рисунке 3.2.



**Рисунок 3.1** – Схема топливного цикла для активной зоны и торцевых экранов реактора



**Рисунок 3.2** – Схема топливного цикла для боковых экранов реактора

Отпущенная электрическая энергия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.1) |

Отпущенная электрическая энергия, приходящаяся на АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |

Отпущенная электрическая энергия, приходящаяся на экраны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.3) |

Накопление осколков деления:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.4) |

Ежегодный расход топлива в активной зоне:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.5) |

Ежегодный расход топлива в торцевом экране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.6) |

Ежегодный расход топлива в боковом экране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.7) |

где - норма накопления плутония.

Ежегодный расход топлива в экранах:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.8) |

Кампания топлива активной зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.9) |

Кампания топлива торцевых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.10) |

Кампания топлива боковых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.11) |

Длительность топливного цикла активной зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.12) |

где – время регенерации и производства топлива

Длительность топливного цикла торцевых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.13) |

Длительность топливного цикла боковых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.14) |

Ежегодная потребность в плутонии в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.15) |

Ежегодная потребность в отвальном уране в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.16) |

Ежегодная потребность в отвальном уране в ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.17) |

Ежегодная потребность в отвальном уране в БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.18) |

Полная потребность в отвальном уране в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.19) |

Полная потребность в отвальном уране в ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.20) |

Полная потребность в отвальном уране в БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.21) |

Количество выгружаемого плутония в год в ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.22) |

Количество выгружаемого плутония в год в БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.23) |

Количество выгружаемого плутония в год c экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.24) |

Количество выгружаемого плутония в год с экранов после переработки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.25) |

Количество товарного плутония в год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.26) |

Полное накопление товарного плутония:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.27) |

Коэффициент использования природного урана, обогащенного до 95%:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.28) |

Потенциалы разделения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.29) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.30) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.31) |

Удельная работа разделения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.32) |

Цена обогащенного до 95% :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.33) |

Цена в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.34) |

Цена в экранах:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.35) |

Амортизационная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.36) |

Составляющая зарплаты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.37) |

Топливная составляющая себестоимости для АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.38) |

Топливная составляющая себестоимости для экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.39) |

Полная топливная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.40) |

Себестоимость отпущенной электроэнергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.41) |

Время внешнего топливного цикла АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.42) |

Время внешнего топливного цикла ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.43) |

Время внешнего топливного цикла БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.44) |

Досрочные оборотные средства АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.45) |

Досрочные оборотные средства ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.46) |

Досрочные оборотные средства БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.47) |

Полные долгосрочные оборотные средства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.48) |

Удельные долгосрочные оборотные средства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.49) |

Расчетные затраты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.50) |

Приравняв расчетные затраты быстрого реактора к расчетным затратам теплового реактора, найдем значение удельных капиталовложений, при которых быстрый реактор экономически более выгоден, чем тепловой реактор:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.51) |

откуда:

Отсюда можно сделать вывод, что при нынешнем уровне капиталовложений наиболее выгодным является строительство АЭС с тепловым реактором, чем АЭС с быстрым реактором.

**Список использованной литературы**

1. Жд тариф онлайн [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.alta.ru/railonline, свободный (дата обращения 6.05.2018).
2. ООО «Единый Торговый Ресурс-УГОЛЬ» [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://e-t-r.tiu.ru/, свободный (дата обращения 6.05.2018).