* 1. **Топливный цикл без регенерации топлива.**

Схема открытого топливного цикла представлена на рисунке 2.1.



**Рисунок 2.1** – Принципиальная схема открытого ЯТЦ для реактора ВВЭР-1000

Отпущенная электрическая энергия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.1) |

Накопление осколков деления:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.2) |

Ежегодный расход топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.3) |

Накопление товарного Pu239 в год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.4) |

Полное накопление товарного Pu239:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.5) |

Доля Pu в выгружаемом топливе:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.6) |

Коэффициент возврата в цикл:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.7) |

Коэффициент расхода природного урана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.8) |

Ежегодная потребность в природном уране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.9) |

Ежегодная потребность в U235:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.10) |

Экономический коэффициент воспроизводства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.11) |

Кампания топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.12) |

Полная потребность в топливе:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.13) |

Полная потребность в природном уране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.14) |

Ежегодное накопление отвального урана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.15) |

Полное накопление отвального урана:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.16) |

Потенциалы разделения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.17) |
|  | (2.1.18) |
|  | (2.1.19) |

Удельная работа разделения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.20) |

Топливная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.21) |

Амортизационная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.22) |

Составляющая зарплаты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.23) |

Себестоимость отпущенной энергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.24) |

Цена топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.25) |

Приведенные затраты на электроэнергию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1.26) |
|  |  |

* 1. **Топливный цикл с регенерацией топлива.**

Схема закрытого топливного цикла представлена на рисунке 2.2.

****

**Рисунок 2.2** – Принципиальная схема закрытого ЯТЦ для реактора ВВЭР-1000

Длительность топливного цикла:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.1) |

Ежегодная потребность в природном уране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.2) |

Ежегодная потребность в U235:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.3) |

Цена обогащенного до 95% U235:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.4) |
|  | (2.2.5) |
|  | (2.2.6) |
|  | (2.2.7) |

Цена Pu239:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.8) |

Топливная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.9) |
|  |  |
| |  |  | | --- | --- | |  |  | |  |

Топливная составляющая себестоимости для топливного цикла без регенерации ниже топливной составляющей себестоимости для топливного цикла с регенерацией, значит, замыкать цикл не выгодно.

Долгосрочные оборотные средства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.10) |

Удельные долгосрочные оборотные средства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.11) |

Себестоимость отпущенной энергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.12) |

Цена топлива:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.13) |

Приведенные затраты на электроэнергию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2.14) |

1. **Расчет ТЭС.**

Отпущенная электрическая энергия:

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

Ежегодный расход топлива:

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

где = 7000/6400 – отношение калорийностей условного топлива и угля (теплота сгорания кузнецкого угля ≈ 6400 ккал/кг, а условного топлива – 7000 ккал/кг)

Полная потребность в топливе:

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

Амортизационная составляющая себестоимости:

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

Составляющая зарплаты:

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

Приведенные затраты на электроэнергию приняты равными таковым для наиболее выгодного (открытого) ЯТЦ для реактора ВВЭР-1000:

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

С помощью следующих выражений была вычислена топливная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.7) |
|  | (3.8) |
|  | (3.9) |

Топливная составляющая себестоимости:

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

Cсебестоимость электроэнергии:

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

Удельные долгосрочные оборотные средства:

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

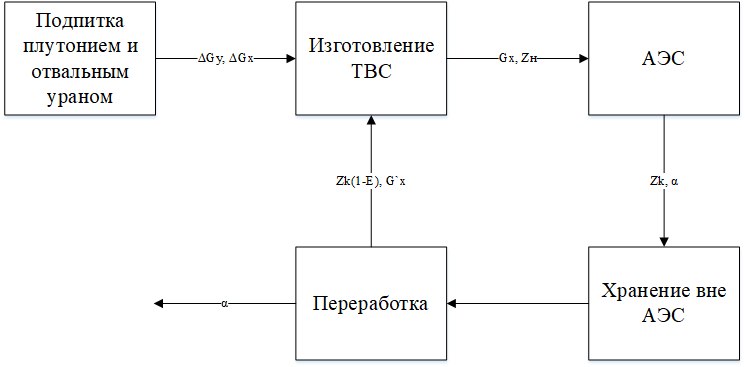
Стоимость угля, начиная с которой АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 может конкурировать с угольной ТЭС:

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

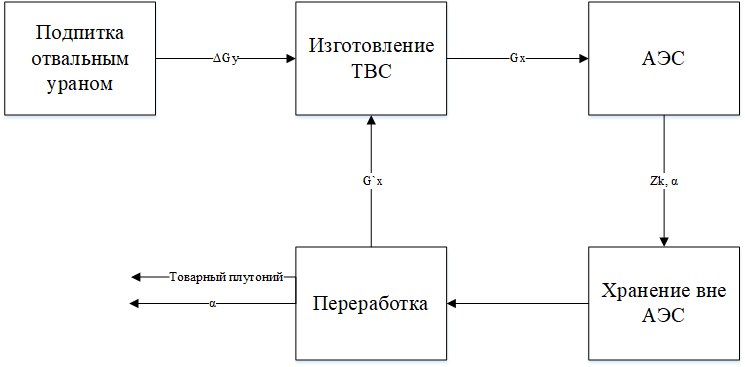
Сейчас стоимость кузнецкого угля марки Т или СС составляет 3700 руб/т [по прайс-листу ООО ПРОМИНВЕСТ-УГОЛЬ на 2018 год], стоимость доставки из Новокузнецка в Москву, то есть на 3500км, составляет 11900 руб/т [по данным АО «РЖД Логистика»], то есть полная стоимость тонны угля составляет 260 /т.

1. **Расчет БР.**

Схема топливного цикла для активной зоны представлена на рисунке 4.1, а для экранов – на рисунке 4.2.



**Рисунок 4.1** – Принципиальная схема ЯТЦ для активной зоны.



**Рисунок 4.1** – Принципиальная схема ЯТЦ для экранов.

Отпущенная электрическая энергия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.1) |

Отпущенная электрическая энергия, приходящаяся на АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.2) |

Отпущенная электрическая энергия, приходящаяся на экраны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.3) |

Накопление осколков деления:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.4) |

Ежегодный расход топлива в активной зоне:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.5) |

Ежегодный расход топлива в торцевом экране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.6) |

Ежегодный расход топлива в боковом экране:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.7) |

где - норма накопления плутония в боковом экране.

Ежегодный расход топлива в экранах:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.8) |

Кампания топлива активной зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.9) |

Кампания топлива торцевых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.10) |

Кампания топлива боковых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.11) |

Длительность топливного цикла активной зоны:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.12) |

где – время регенерации и производства топлива.

Длительность топливного цикла торцевых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.13) |

Длительность топливного цикла боковых экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.14) |

Ежегодная потребность в плутонии в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.15) |

Ежегодная потребность в отвальном уране в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.16) |

Ежегодная потребность в отвальном уране в ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.17) |

Ежегодная потребность в отвальном уране в БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.18) |

Полная потребность в отвальном уране в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.19) |

Полная потребность в отвальном уране в ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.20) |

Полная потребность в отвальном уране в БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.21) |

Количество выгружаемого в год плутония в ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.22) |

Количество выгружаемого в год плутония в БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.23) |

Количество выгружаемого в год плутония с экранов после переработки:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.24) |

Количество товарного плутония в год:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.25) |

Полное накопление товарного плутония:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.26) |

Цена плутония получена исходя из найденной ранее цены обогащенного до 95% U235.

Цена в АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.27) |

Цена в экранах:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.28) |

Амортизационная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.29) |

Составляющая зарплаты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.30) |

Топливная составляющая себестоимости для АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.31) |

Топливная составляющая себестоимости для экранов:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.32) |

Полная топливная составляющая себестоимости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.33) |

Себестоимость отпущенной электроэнергии:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.34) |

Долгосрочные оборотные средства АЗ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.35) |

Долгосрочные оборотные средства ТЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.36) |

Долгосрочные оборотные средства БЭ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.37) |

Удельные долгосрочные оборотные средства:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.38) |

Расчетные затраты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.39) |

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

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.40) |

откуда:

Отсюда можно сделать вывод, что при нынешнем уровне капиталовложений наиболее выгодным является строительство АЭС с тепловым реактором, чем АЭС с быстрым, так как приведённые расчётные затраты для АЭС с ТР меньше, чем для АЭС с БР.