

УДК 338.31

***РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА АЭС***

***Донов Д.И.***

*Магистрант, 2 курса, направления подготовки «Прикладная информатика»  
Факультет бизнес–информатики и управления комплексными системами  
Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ  
Москва, Россия*

***Кострюков В.Н.***

*Магистрант, 2 курса, направления подготовки «Прикладная информатика»  
Факультет бизнес–информатики и управления комплексными системами  
Национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ  
Москва, Россия*

**Аннотация**

В данной статье проводится анализ экономических и технических показателей накопителей электроэнергии. Также выполняется расчет экономической эффективности внедрения накопителей на АЭС путем расчета NPV, затрат и срока службы устройств.

**Ключевые слова:** накопитель, атомная электростанция, литий-ионные аккумуляторы, NPV.

***THE CALCULATION OF EFFICIENCY OF INTRODUCTION STORAGE OF  
NUCLEAR ELECTRICITY***

***Donov D.I.***

*Master's degree student, 2 courses, areas of training "Applied Informatics" Faculty of business Informatics and control of complex systems*

*National Research Nuclear University MEPhI*

*Moscow, Russia*

***Kostryukov V.N.***

*Master's degree student, 2 courses, areas of training "Applied Informatics" Faculty of business Informatics and control of complex systems*

*National Research Nuclear University MEPhI*

*Moscow, Russia*

## **Annotation**

The article analyzes the economic and technical indicators of energy storage. Also, the calculation of the economic efficiency of the introduction of storage in nuclear power plants, by calculating the NPV, costs and service life of the devices.

**Keywords:** storage, nuclear power plant, lithium-ion batteries, NPV.

Сегодня вопрос о потреблении электроэнергии в России поднимается крайне редко. Электростанции, расположенные по всей стране, обеспечивают бесперебойную подачу электропитания. В основном выработка ориентирована на количество потребляемой электроэнергии в том или ином регионе. Но куда же идет электроэнергия при избыточной генерации?

К примеру, тепловые электростанции стараются распределять лишнюю энергию в другие районы. В случае, когда электроэнергию некуда

распределит – она идет на катушки и компенсаторы, которые ее поглощают. Часть выработанной электроэнергии теряется, значит и топливо на ее выработку расходуется неэффективно.

На АЭС практически невозможно регулировать мощность, так как любое изменение в мощности выработки опасно. Как правило, все электростанции работают на 80% от максимально возможной мощности[3].

Возникает вопрос – а можно ли сохранить лишнюю электроэнергию? Сегодня существует множество аккумуляторов и накопителей электроэнергии. Одни имеют низкую стоимость при этом высокую саморазрядность, другие имеют большой размер и вес, что является дополнительной сложностью при их установке.

Проанализировав мировой рынок накопителей, мы приходим к выводу, что наиболее подходящий вариант накопителя электроэнергии – Li-ion (литий-ионные) аккумуляторы[2]. Они имеют среднюю стоимость на рынке, низкую разрядность, могут работать в различных температурных условиях.

Рассмотрим наиболее популярные и конкурирующие друг с другом накопители на рынке. Результаты в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение накопителей электроэнергии

Накопитель	Стоимость (руб.)	Емкость (кВт)	Стоимость хранения 1 кВт (руб.)	Срок службы (лет)	Стоимость использования 1 кВт в час (руб.)
TESLA Powerwall 2	357500	13,5	26 481	10	0,302300017
HYBRID 48B	790000	18	43 889	10	0,501014713
Экомоторс	350000	7,7	45 455	10	0,518887505
LG Chem RESU	260000	6,5	40 000	10	0,456621005
Sunverge	1300000	23	56 522	10	0,645225333
ElectrIQ	845000	10	84 500	10	0,964611872

Накопитель американского производства лидирует по нескольким показателям. Tesla Powerwall 2 на рынке имеет стоимость 5500 долларов США[5], что в рублях составляет около 360 тысяч. При всем этом емкость хранения составляет 13,5 кВт. Срок службы у всех устройств накопления составляет 10 лет. Однако после данного срока устройство не выходит из строя, а лишь теряет часть своей емкости.

Важными показателями для накопителей электроэнергии в промышленном масштабе является стоимость хранения и использования электроэнергии. Расчет стоимости хранения рассчитали следующим образом:

$$C = \frac{B}{Q}, \quad \text{где:}$$

B – стоимость накопителя электроэнергии,

Q – емкость накопителя электроэнергии.

Далее был произведен расчет стоимости использования 1 кВт/ч с учетом срока работоспособности устройства на протяжении 10 лет. Расчет произвели по формуле:

$$C_{исп} = \frac{C}{L * D * H}, \quad \text{где:}$$

C – стоимость хранения 1 кВт,

L – срок службы накопителя электроэнергии,

D – число дней в году (365),

H – количество часов (24).

Таким образом, стоимость хранения 1 кВт/ч Tesla Powerwall 2 составила 30 копеек, у HYBRID 48В 50 копеек, у LG Chem RESU 46 копеек.

Далее нам необходимо выяснить, выгодно ли устанавливать на АЭС накопители электроэнергии. По данным Росатома, в России атомные электростанции вырабатывают электроэнергию с себестоимостью от 20 до 50 копеек. Ранее мы выявили, сколько стоит хранение 1 кВт в час при помощи накопительных устройств. Однако, для расчета экономической эффективности необходимо рассчитать NPV по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + R)^t}$$

Где:

n, t – количество временных периодов,

CF – денежный поток (Cash Flow),

R – стоимость капитала (ставка дисконтирования, Rate).

Следующим шагом необходимо определить количество электроэнергии, которую мы планируем хранить на накопителях. Исходя из данных на сайте Ленинградской АЭС[1], построим суточный график выработки и потребления электричества. Результаты представлены на рисунке 1.



Рис. 1. График суточной выработки и потребления электроэнергии на Ленинградской АЭС

По данному графику можно сделать вывод, что вырабатываемая электроэнергия генерируется чрезмерно. Постоянная мощность выработки АЭС - 3200 мВт/ч, что составляет 80% от максимальной мощности. Возникает вопрос – выгодно ли снизить мощность выработки и компенсировать ее накопителями электроэнергии? Для того чтобы ответить на этот вопрос необходимо определить количество и стоимость компенсирующих разность накопителей. Исходя из данных сайта Ленинградской АЭС[1], составим таблицу потребления электроэнергии.

Таблица 2. Суточная выработка Ленинградской АЭС

Время суток	Среднее потребление (в сутки)	Мощность 80% (мВт/ч)	Потребляемая энергия (мВт/ч)	Мощность 70% (мВт/ч)	Разница мощностей (мВт/ч)
0:00	10%	3200	320	2800	2480
1:00	10%	3200	320	2800	2480
2:00	10%	3200	320	2800	2480
3:00	10%	3200	320	2800	2480
4:00	15%	3200	480	2800	2320

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕКТОР ЭКОНОМИКИ»

5:00	35%	3200	1120	2800	1680
6:00	60%	3200	1920	2800	880
7:00	75%	3200	2400	2800	400
8:00	80%	3200	2560	2800	240
9:00	55%	3200	1760	2800	1040
10:00	30%	3200	960	2800	1840
11:00	25%	3200	800	2800	2000
12:00	30%	3200	960	2800	1840
13:00	40%	3200	1280	2800	1520
14:00	50%	3200	1600	2800	1200
15:00	30%	3200	960	2800	1840
16:00	20%	3200	640	2800	2160
17:00	35%	3200	1120	2800	1680
18:00	60%	3200	1920	2800	880
19:00	80%	3200	2560	2800	240
20:00	100%	3200	3200	2800	-400
21:00	100%	3200	3200	2800	-400
22:00	90%	3200	2880	2800	-80
23:00	65%	3200	2080	2800	720

По данным таблицы 2 следует, что при выработке 70% от максимальной мощности АЭС необходимо компенсировать нехватку энергии 880 мВт. Так как Tesla Powerwall 2 является наиболее эффективным устройством из представленных, разделим количество недостаточной электроэнергии на его мощность, тем самым получим число необходимых устройств для компенсации. Далее умножим количество на стоимость одного, т.е.:  $(880/13,5)*357\,500 = 23\,303\,704$  рублей. Данная сумма является затратами при снижении мощности до 70%.

Далее по формуле NPV, приведенной выше, рассчитаем экономическую эффективность.

$$NPV = \frac{CF_0}{(1+R)^0} + \frac{CF_1}{(1+R)^1} + \frac{CF_2}{(1+R)^2} + \frac{CF_3}{(1+R)^3} + \frac{CF_4}{(1+R)^4} + \frac{CF_5}{(1+R)^5} + \frac{CF_6}{(1+R)^6} + \frac{CF_7}{(1+R)^7} + \frac{CF_8}{(1+R)^8} + \frac{CF_9}{(1+R)^9} - \text{Затраты}$$

Где :

CF - денежный поток (880 мВт \* 0,2 руб. \*365),

R – ставка дисконтирования (10%).

$$NPV = \frac{64240}{(1+10\%)^0} + \dots + \frac{CF_9}{(1+10\%)^9} - 23\,303\,704 = -22\,908\,977$$

Чистый приведенный доход составил минус 22,9 млн. рублей. Данный показатель говорит о нерентабельности использования выбранного накопителя электроэнергии. Данные устройства не окупаются спустя 10 лет.

Таким образом, можно сделать вывод, что литий-ионные накопители являются наиболее конкурентными на рынке из-за относительно невысокой цены и низкой саморазрядности. Данные устройства можно использовать в бытовой среде – дома или за городом. Однако для использования в промышленных масштабах они не подходят.

Несомненно, будущее у литий-ионных накопителей есть. К сожалению, в данный момент их цена велика для хранения энергии в больших масштабах.

### Библиографический список:

1. Ленинградская АЭС. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. — Режим доступа —  
URL: [http://www.lnpp.ru/new\\_lnpp/mindex.shtml?../new\\_lnpp/main2.shtml](http://www.lnpp.ru/new_lnpp/mindex.shtml?../new_lnpp/main2.shtml)  
(Дата обращения 20.04.2019)

2. Лиотех. Литий-ионные технологии [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <http://www.liotech.ru/> (Дата обращения 20.04.2019)
3. Росатом – госкорпорация по атомной энергии. Сервис и обслуживание АЭС. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://www.rosatom.ru/production/service/> (Дата обращения 21.04.2019)
4. Экомоторс. Альтернативный транспорт и энергетика. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <http://ecomotors.ru/> (Дата обращения 21.04.2019)
5. Powerwall. The Tesla Home Battery. [Электронный ресурс]. — Режим доступа — URL: <https://www.tesla.com/powerwall> (Дата обращения 20.04.2019)

*Оригинальность 98%*