

## РАЗДЕЛ 3. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.311.1(031)

### ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

И.В. Латочкин, Н.И. Смоленцев

*Рассматриваются вопросы разработки методики выбора параметров накопителя энергии для оптимизации системы электроснабжения предприятия по экономическим параметрам. На примере конкретного предприятия ТРК «Слон» (г. Миасс) показан экономический эффект применения накопителя энергии в системе электроснабжения предприятия. Работа выполнена в рамках Соглашения о предоставлении субсидии № 14.577.21.0069 от 05.06.2014 г. (RFMEFI57714X0069), заказчик – Министерство образования и науки Российской Федерации.*

*Ключевые слова: параметры накопителя энергии, система электроснабжения, локальная электрическая сеть (ЛЭС), накопитель энергии, высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП), СПЭНЭ-1.*

В настоящее время в системах электроснабжения находят все более широкое применение накопители энергии (НЭ), возобновляемые источники энергии (ВИЭ), в частности, солнечная энергия, энергии ветра, биогаза и другие [1–6]. Использование НЭ, ВИЭ отвечает социальным и экологическим запросам времени, способствует снижению себестоимости электроэнергии. Как правило, возобновляемые источники электрической энергии работают в составе автономных сетей, получивших название локальных электрических сетей (ЛЭС) [7].

Состав и структура ЛЭС становятся все более разнообразными и зависят от многих факторов: региона, назначения ЛЭС и вида ВИЭ. Следовательно, локальные электрические сети для различных регионов, отличающихся потенциалом разных ВИЭ, будут отличаться по своему составу, нагрузкам, виду источника энергии, мощности и другим важнейшим технико-экономическим характеристикам, однако для всех ЛЭС характерна неравномерность графика нагрузки.

С такой же проблемой сталкивается любое предприятие при оптимизации работы системы энергосбережения. Неравномерность нагрузки влечёт повышенный износ оборудования, а также увеличение потерь в системах электроснабжения.

Существуют различные способы реше-

ния данной проблемы, в том числе с помощью накопителей энергии.

В настоящее время в стране и за рубежом идут работы по созданию эффективных, компактных накопителей энергии для нужд энергетики и электротранспорта [8]. В частности, в работах [9–12] приведены сведения о разработке сверхпроводящего электрокинетического накопителя энергии (СПЭНЭ-1), отличающегося высокими энергетическими характеристиками и малыми потерями электрической энергии за счет отсутствия трения в опорах ротора-маховика.

Однако, вопросы выбора оптимальных параметров накопителя энергии и оценки результатов его использования недостаточно освещены в литературе. Цель данной работы – разработка методики выбора параметров накопителя энергии, позволяющей с максимальной эффективностью оптимизировать систему энергоснабжения предприятия и оценка, с ее помощью, экономических результатов применения накопителя энергии на примере конкретного предприятия.

В качестве объекта исследования выбрана система энергоснабжения торгового центра (ТЦ) «Слон», находящегося в г. Миассе Челябинской области. Суточный график потребления ТЦ электрической энергии приведен на рисунке 1.

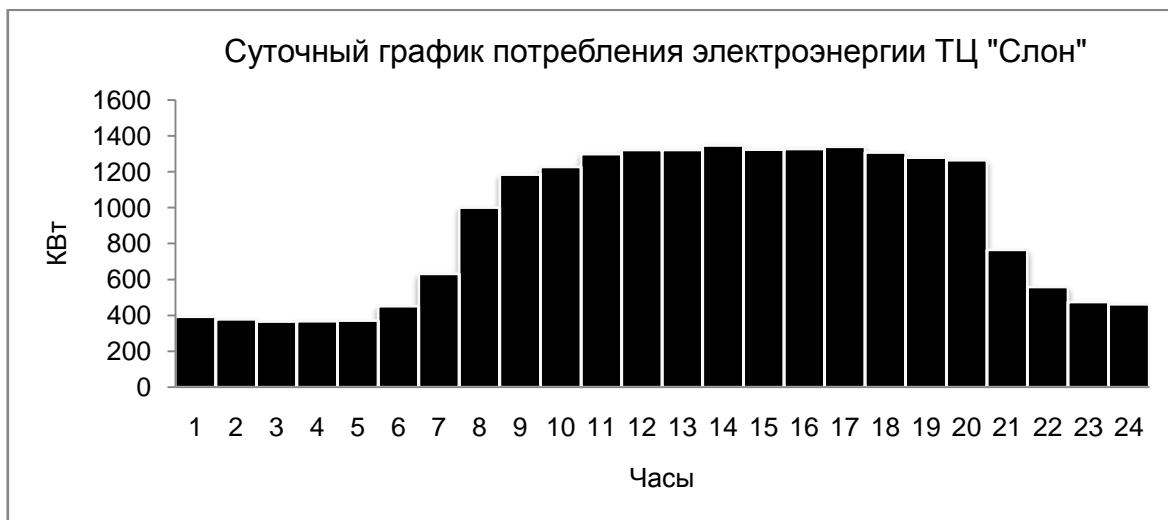


Рисунок 1 – Суточный график потребления электрической энергии ТРК «Слон»

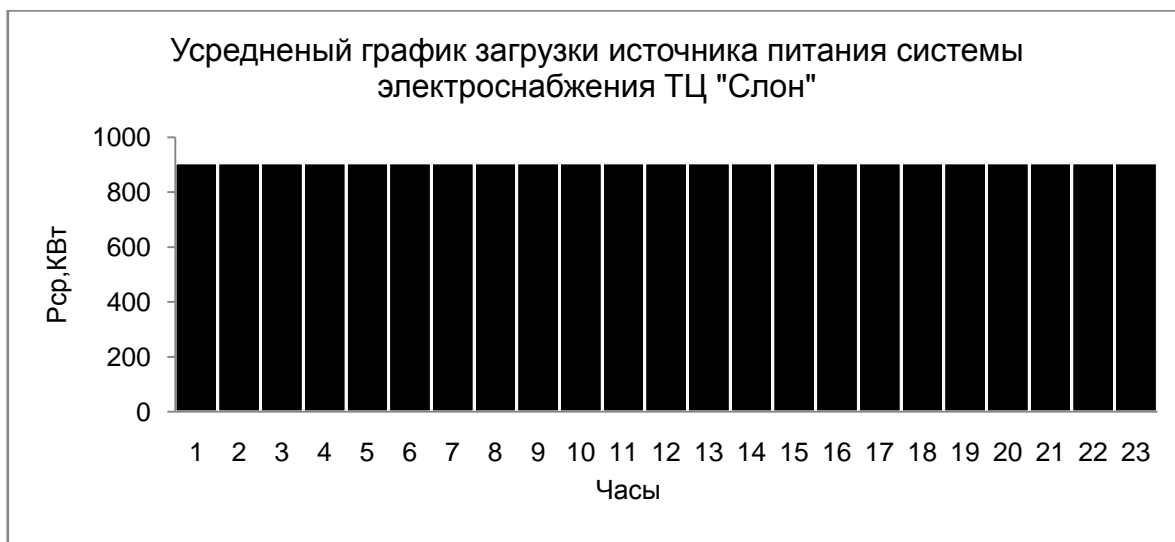


Рисунок 2 – Усредненный график загрузки источника питания системы электроснабжения ТЦ «Слон»

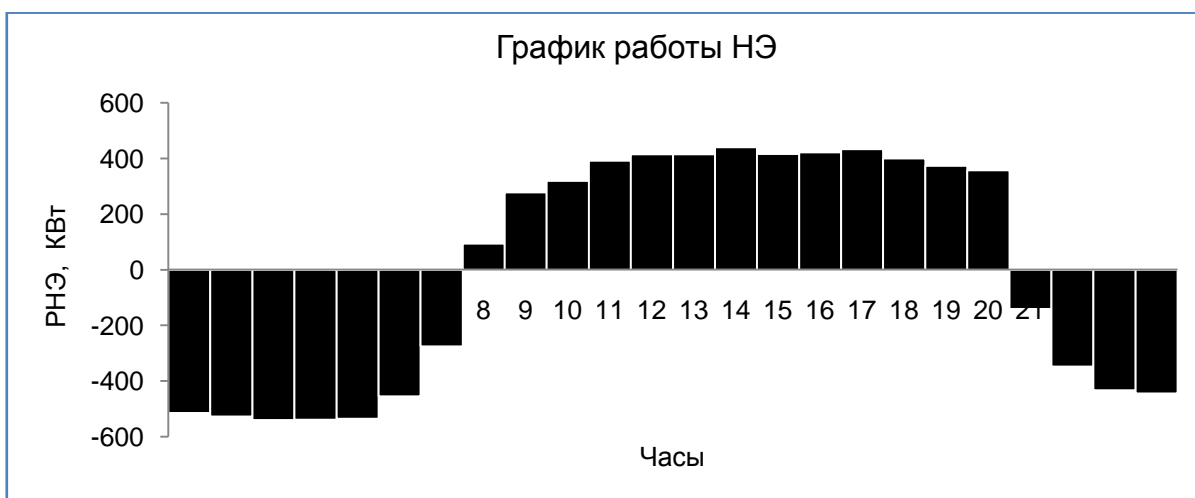


Рисунок 3 – График работы накопителя энергии

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Определим неизменную загрузку источника питания системы электроснабжения при переменной части нагрузки в течение суток. Найдём среднее потребление предприятием:

$$P_{cp} = \frac{\sum P_i}{t} \quad (1)$$

где  $P_i$  – нагрузка в  $i$  – момент времени,  $t$  – интервал усреднения, равный 24 часам.

Средняя загрузка источника, определенная из суточного графика (рисунок 1) и формулы (1) составила 906 Квт. Усредненный

график загрузки источника питания системы электроснабжения приведен на рисунке 2.

Для определения необходимой емкости накопителя энергии определим разность значений мощностей нагрузок, приведенных на рисунках 2 и 3, в одинаковые моменты времени:

$$P_{нэ} = P - P_{cp}. \quad (2)$$

Результаты, характеризующие режимы работы накопителя энергии приведены на рисунке 3.

Таблица 1 – Исходные данные по расчету экономии электроэнергии путем применения накопителя энергии

Часы	Потребление электрической энергии ТРК «Слон», Рпот, кВт	Режимы работы накопителя энергии		Баланс		Стоимость	
		Накопленная	Отданная энергия $E_{отд}$ , кВт	Цена энергии, руб/кВт	Стоимость энергии у потребителя без накопителя, руб.	Стоимость накопленной энергии, руб.	Стоимость энергии, отданной накопителем, руб.
		Энергия $E_{нак}$ , кВт					
0–1	392	-515		3 038,29	1190189	1564719,35	
1–2	378	-528		2 976,14	1126052	1571401,92	
2–3	366	-540		2 937,03	1074307	1585996,2	
3–4	368	-539		2 487,36	914254	1340687,04	
4–5	370	-536		2 830,80	1048415	1517308,8	
5–6	452	-455		3 007,53	1358110	1368426,15	
6–7	631	-275		3 058,97	1929782	841216,75	
7–8	1000		94	3 212,72	3212302		301995,68
8–9	1184		277	3 395,49	4018732		940550,73
9–10	1226		320	3 435,45	4211724		1099344
10–11	1298		392	3 473,02	4508223		1361423,84
11–12	1322		415	3 469,98	4585613		1440041,7
12–13	1321		415	3 416,93	4513730		1418025,95
13–14	1346		440	3 410,59	4590961		1500659,6
14–15	1322		416	3 407,79	4506496		1417640,64
15–16	1327		421	3 420,73	4540745		1440127,33
16–17	1340		434	3 390,75	4543300		1471585,5
17–18	1307		400	3 403,41	4446998		1361364
18–19	1279		373	3 405,04	4355523		1270079,92
19–20	1264		358	3 398,01	4294677		1216487,58
20–21	765	-141		3 408,96	2607104	480663,36	
21–22	558	-348		3 446,00	1923419	1199208	
22–23	474	-433		3 288,19	1557385	1423786,27	
23–24	462	-444		3 150,92	1455599	1399008,48	
Итого	21750	4754	4755	77 870,10	72513643	14292422,3	16239326,5

Периоды времени с 0 часов до 7 часов и с 21 часа до 24 часов соответствуют избытку электрической энергии в системе. В эти периоды происходит накопление электрической энергии от источника электрической энергии, а период времени с 8 часов до 20 часов соответствует дефициту электрической энергии,

$$E_{\text{нак}} = (\sum_{i=1}^7 P_i) + (\sum_{i=1}^4 P_i) = 3388 \text{ кВт}\cdot\text{ч} + 1366 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 4754 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

$$E_{\text{от}} = (\sum_{i=1}^{12} P_i) = 4755 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (3)$$

Как следует из формул (3), накопленная энергия  $E_{\text{нак}}$  практически равна отданной в сеть электрической энергии  $E_{\text{от}}$ , поэтому дефицит электрической энергии  $\Delta E = E_{\text{от}} - E_{\text{нак}} = 1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  минимален. Бесперебойную работу системы электроснабжения сможет обеспечить накопитель энергии с энергоемкостью не менее 4755 кВт·ч или 17, 11 Мдж.

Работу накопителя энергии можно представить следующим образом. В системе электроснабжения, содержащей источник энергии, линию электропередачи, потребитель, процессы генерации, передачи и потребления происходят одновременно, в этом заключается своеобразие электрической энергии. Накопитель энергии может выполнить роль «склада», в который помещается избыточная энергии при снижении ее потребления. При дефиците электрической энергии потребитель забирает со «склада» сохраненную энергию и восполняет ее дефицит. Таким образом, происходит временной разрыв процессов генерации и потребления электрической энергии, что придает системе электроснабжения новые качества и новые возможности. Например, возможность применения сетевых технологий, аналогичных сетевым технологиям в области передачи информации [7, 13]. Накопитель энергии позволяет производить коммерциализацию электрической энергии при неоднородном по времени тарифе на электрическую энергию. Из всего разнообразия положительных результатов применения накопителей энергии рассмотрим вопрос об экономии электроэнергии на примере ТРК «Слон». В таблице 1 приведены исходные данные по расчету экономии электроэнергии путем применения накопителя энергии [14].

В частности, представлены исходные данные по объемам потребления и стоимости электрической энергии в зависимости от времени суток для потребителя ТРК «Слон», а также приведены режимы работы накопителя энергии, взятые из графика 3 и формул (3).

Как следует из таблицы, при работе без

происходит отдача электрической энергии в сеть. Для определения величины накопленной энергии  $E_{\text{нак}}$  и отданной в сеть энергии  $E_{\text{от}}$  необходимо произвести численное интегрирование соответствующих областей на графике (рисунок 3).

накопителя энергии стоимость потребленной ТРК «Слон» за сутки электроэнергии составляет 72513643 рублей.

Стоимость накопленной энергии за сутки составила 16239326,5 рублей, стоимость отданной накопителем электроэнергии в сеть составила 14292422,3 рублей. Таким образом, экономия электрической энергии равна 16239326,5 руб. – 14292422,3 руб. = 1946904,2 рублей, что составит порядка 2,7 % от стоимости всей потребляемой ТРК «Слон» электроэнергией за сутки. Таким образом, накопитель энергии позволяет повысить энергосбережение и энергоэффективность, тем самым уменьшить издержки предприятия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кувшинов, В. В. Некоторые результаты исследования комбинированной установки для фототермопреобразования солнечной энергии / В. В. Кувшинов, В. А. Сафонов // 36. науч. пр. СТУЯЭтаП. – Севастополь : СТУЯЭиП, 2009. – Вып. 3 (31). – С. 158–163.
2. Кирпичникова, И. М. Виброгасители мачт сверхмалых вертикально-осевых ветроэнергетических установок / И. М. Кирпичникова, И. М. Солонин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2010. – № 14 (190). – С. 78–81.
3. Харченко, В. В. Солнечная электростанция для параллельной работы / В. В. Харченко, В. А. Гусаров, В. А. Майоров // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 2. – С. 37–43.
4. Гашо, Е. Г. Пути и проблемы модернизации распределенных энерготехнологических систем регионов / Е. Г. Гашо // Электрика. – 2011. – № 2. – С. 12–17.
5. Чиндяскин, В. И. Разработка компьютерной модели для расчёта эффективной локальной системы электроснабжения сельских поселений / В. И. Чиндяскин, Е. Ф. Киселева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2009. – Т. 2. – № 24-1. – С. 88–92.
6. Четошникова, Л. М. Снижение колебаний энергии в локальных сетях с распределенной энергией / Л. М. Четошникова, Н. И. Смоленцев, С. А. Четошников, А. Н. Смоленцев // Электрика. – 2013. – № 5. – С. 37–39.

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

7. Смоленцев, Н. И. Локальная электроэнергетическая сеть в технологической платформе SmartGrid / Н. И. Смоленцев, Л. М. Четошникова // Электрика. – 2011. – № 8. – С. 25–28.

8. Смоленцев, Н. И. Сверхпроводящие накопители энергии в современной энергетике : монография / Н. И. Смоленцев // Южно-Уральский государственный университет (НИУ), каф. Автоматики. – Миасс : ЭТФ ЮУрГУ, 2015. – 31 с. – Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=24301725>.

9. Смоленцев, Н. И. Накопитель энергии на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) для альтернативной энергетики / Н. И. Смоленцев, Л. М. Четошникова // Электрика. – 2011. – № 5. – С. 38–41.

10. Смоленцев, Н. И. Разработка накопителя энергии на основе высокотемпературной сверхпроводимости и перспективы его применения в локальных электрических сетях / Н. И. Смоленцев, Л. М. Четошникова, Ю. Л. Бондарев // Ползуновский вестник. – 2015. – № 1. – С. 73–77.

11. Пат. 2601590 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н02К 7/02, Н02К 7/09. Электромеханический сверхпроводящий накопитель энергии / Н. И. Смоленцев. – № 2015115350/07 ; заявл. 23.04.2015 ; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 31. – 10 с.

12. Смоленцев, Н. И. Сверхпроводящий электрокинетический накопитель энергии для локальных

электрических сетей / Н. И. Смоленцев, С. А. Кондрин // Электроэнергетика глазами молодежи: Материалы V11 Международной научно-технической конференции, 19-23 сентября 2016 г., Казань. – В 3 т. – Т. 3. – докл. Т. 3. – С. 301–305.

13. Patterson, B. The new role of buildings in the 21st century. Eternet (Internet of energy). Greenbuild International Conference, New Orleans, USA, October 2014.

14. Предельные уровни нерегулируемых цен на электрическую энергию (мощность), поставляемую потребителям (покупателям) ПАО Челябинскэнерго от 01.07.2016. – 2015. – № 1. – С. 73–77. – Режим доступа : [http://esbt74.ru/files/jr\\_litsa/nerc/2016/06/06\\_energосnab670\\_10.xlsик](http://esbt74.ru/files/jr_litsa/nerc/2016/06/06_energосnab670_10.xlsик).

**Латочкин Иван Владимирович**, магистрант, инженерно-экономического факультета ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, e-mail: [ivalat777@gmail.com](mailto:ivalat777@gmail.com).

**Смоленцев Николай Иванович**, к.т.н., доцент, филиал ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» в г. Миассе, e-mail: [smolenzev@rambler.ru](mailto:smolenzev@rambler.ru).