

ЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЯ, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОЦЕССЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ПРОМЭНЕРГО» ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Б.Х. Валиев, А.Г. Логачева, Ю.Н. Зацаринная

bulatvaliev98@icloud.com, logacheva.alla@yandex.ru, waysubbota@gmail.com

Казанский государственный энергетический университет

Ключевые слова: ценовые категории, системы накопления электроэнергии, розничный рынок, оплата электроэнергии, накопитель «за счетчиком», снижение затрат, литий-ионный аккумулятор, окупаемость

Аннотация

Ключевой предпосылкой развития новой электроэнергетики в России является качественное изменение поведения потребителей в розничном секторе. В условиях высоких затрат на оплату потребляемой электроэнергии и мощности в пиковые часы у российских промышленных потребителей есть основания устанавливать накопители электроэнергии на своей площадке. Основной причиной является возможность уменьшить расходы на оплату электроэнергии путем ценового арбитража и сглаживания пиков потребления. Нами было рассмотрено промышленное предприятие малой мощности, приобретающее электрическую энергию у гарантирующего поставщика и осуществляющее расчеты по третьей ценовой категории. На основании текущих и прогнозных цен на электроэнергию и мощность на территории Республики Татарстан составлен прогноз окупаемости литий-ионных накопителей установленной мощностью 10 и 19 кВт, рассчитанных на выдачу электроэнергии в течение четырех часов. Расчеты показали, что установка накопителя у промышленного потребителя, т.е. «за счетчиком», может быть целесообразной для оптимизации затрат на электроснабжение в условиях Республики Татарстан уже сегодня.

Введение

Получать электрическую энергию люди научились уже более века назад. Но если в прошлом веке человек не сильно задумывался о ее стоимости, то сегодня с ценой электроэнергии нельзя не считаться. Многие предприятия в России

отличаются высокой энергоемкостью, и расходы на оплату электроэнергии влияют на себестоимость продукции и ее дальнейшую конкурентоспособность производимой ими продукции. Как показывает статистика, затраты промышленных предприятий на энергоресурсы составляют в среднем от 3 до 11% себестоимости продукции. Для нефтеперерабатывающей отрасли затраты на энергоресурсы могут превышать 50% [1]. Снижение энергоемкости производства является стратегической задачей не только каждого отдельного предприятия, но и страны в целом. Сегодня в России электроэнергия как товар реализуется на оптовом и розничном рынках электроэнергии и мощности. В торговле на оптовом рынке участвуют преимущественно крупные производители и покупатели электрической энергии. На розничном рынке электрическая энергия реализуется через энергосбытовые организации, среди которых выделяются гарантирующие поставщики. Гарантирующий поставщик обязан заключить договор купли-продажи электрической энергии с любым обратившимся к ней потребителем. При этом нерегулируемые цены на электроэнергию рассчитываются гарантирующим поставщиком по шести ценовым категориям. Они делятся на интегральные (цена устанавливается за месяц или за зону суток потребления электроэнергии) и интервальные (почасовое ценообразование). К интегральным относятся первая (ЦК1) и вторая ценовые категории (ЦК2). К интервальным относятся третья (ЦК3), четвертая (ЦК4), пятая (ЦК5) и шестая (ЦК6) ценовые категории.

Потребители, максимальная мощность которых превышает 670 кВт, могут выбирать ЦК3, ЦК4, ЦК5 и ЦК6. Те потребители, которые имеют мощность менее 670 кВт, имеют право выбирать любую из шести ценовых категорий. Всем потребителям для осуществления расчетов согласно тарифообразованию интервальных ценовых категории требуется почасовой учёт расхода электроэнергии.

Особенностью категорий ЦК3-6 является дифференцированная ставка оплаты услуг по покупке мощности и передаче электроэнергии. На основании данных ставок и установленных коммерческих и системных операторами энергосистемы часов формируется сумма оплаты за мощность. Таким образом, общий счет за электроэнергию зависит не только от фактически потребленного объема и времени потребления, но и величины нагрузки в пиковые часы.

С целью снижения платы за электроэнергию и мощность предприятием могут быть выбраны различные стратегии. Например, может быть оптимизирован график потребления таким образом, чтобы его максимум не совпадал с пиковыми часами энергосистемы [2]. Однако в большинстве случаев это затруднительно ввиду технологических и социальных факторов. Другим способом снижения счетов за электроэнергию является применение систем накопления энергии, т.е. установка накопителя на территории предприятия – «за счетчиком». Пока в России не каждому предприятию доступна установка накопителей из-за их высокой стоимости. Однако стимулирование возобновляемой энергетики и электромобилей привели к интенсификации разработок энергоэффективных накопителей. Согласно отчетам американской консалтинговой компании Bloomberg New Energy Finance за последние десять лет удельная стоимость хранения энергии снизилась почти в 6 раз [3]. Анализ глобальной базы проектов по хранению энергии национальной лаборатории Сандия Министерства энергетики США (DOE Global Energy Storage

Database) [4] показал, что более четверти из реализованных в 2015-2019 гг. проектов были направлены на снижение счетов за электроэнергию.

Развитие систем накопления энергии открывает большие возможности по оптимизации затрат на электроэнергию на промышленных предприятиях. В случае установки накопителей необходимость менять технологический процесс отсутствует, и целесообразность их применения обуславливается прогнозированием окупаемости на основе капитальных затрат, стоимости технического обслуживания и эксплуатации.

Для стратегической интеграции систем накопления энергии в систему электроснабжения предприятий в настоящее время в России необходимо выполнить следующие условия: необходима массовая установка интеллектуальных систем учета, для чего и был принят ФЗ № 522 от 27.12.2018 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в РФ». Во-вторых, нужно тщательно продумать эффективное тарифообразование для промышленного потребителя с использованием накопителя. Это позволит получить дополнительную прибыль и скорректировать его потребление, а также будет способствовать появлению конкурентного рынка розничной энергии (РРЭ) [5]. В-третьих, предприятию нужно понимать экономическую целесообразность установки накопителя «за счетчиком».

Особенно много исследований ведется в области применения литий-ионных накопителей для оптимизации графика потребления как промышленных, так и бытовых потребителей [6-11]. Существует ряд работ, посвященных оценке целесообразности использования литий-ионных аккумуляторов на территории России [12-14]. При этом не во всех случаях применение литий-ионных аккумуляторов для снижения счета путем ценового арбитража и сглаживания пиков нагрузки получается экономически оправданным [8, 9]. В некоторых случаях существующий уровень капитальных затрат на литий-ионные системы накопления энергии часто требует дополнительных стимулирующих мер [11] в виде снижения налогов для обеспечения инвестиционной привлекательности проекта.

Авторами статьи была поставлена цель получить оценку экономической целесообразности применения системы накопления энергии на базе литий-ионных аккумуляторных батарей в составе энергетического комплекса промышленного предприятия, приобретающего электрическую энергию у гарантирующего поставщика, на основании текущих и прогнозных цен на электроэнергию, мощность и литий-ионные аккумуляторы на территории Республики Татарстан.

Методика расчета платы за электроэнергию и мощность

В данной работе рассматривается предприятие, осуществляющее расчеты с гарантирующим поставщиком по третьей ценовой категории. Оплата поставщику за потребленную электроэнергию при ЦКЗ складывается из двух составляющих:

$$Z = Z_{ЭЭ} + Z_M \quad (1)$$

где Z - общая сумма оплаты по счету, руб.; $Z_{ЭЭ}$ – оплата за электроэнергию, руб.; Z_M – оплата за мощность, руб.

Стоимость электроэнергии рассчитывается как:

$$Z_{\text{ЭЭ}} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^{24} E_i \cdot C_{i_ЭЭ} \quad (2)$$

где E_i – потребленная за i -тый час электроэнергия по прибору учета, МВтч; C_i – ставка для фактических почасовых объемов покупки электрической энергии, отпущенных на уровне соответствующего напряжения, в i -тый час, руб./МВтч; N – количество календарных дней в расчетном периоде.

Стоимость мощности рассчитывается на основании среднего арифметического значения максимальной мощности в пиковые часы, указанные коммерческим оператором. Пиковые часы публикуются в следующем за расчетным месяце. Для каждого рабочего дня в расчетном периоде указывается один пиковый час.

$$Z_M = \frac{C_{\text{м}}}{n} \sum_{i=1}^n P_{i_пик} \quad (3)$$

где P_i – мощность в пиковый час в i -тый рабочий день расчетного периода, МВт; $C_{\text{м}}$ – ставка за мощность, приобретаемую потребителем (покупателем), предельного уровня нерегулируемой цены, рублей/МВт в месяц; n – количество рабочих дней в расчетном периоде.

Ставки на электрическую энергию и мощность для покупателей публикуются на официальном сайте энергосбытовой организации.

Ценовой арбитраж и сглаживание пика нагрузки как инструменты снижения суммы счета

Для выявления потенциала сокращения затрат путем ценового арбитража необходимо определение внутри суток диапазона высоких и низких цен на электроэнергию. При анализе часовых ставок на электрическую энергию для третьей ценовой категории АО «Татэнергосбыт» было выявлено, что диапазон низких цен приходится на ночной временной интервал с 1:00 до 6:00. Высокие цены наблюдаются преимущественно с 11:00 до 12:00 и с 17:00 до 21:00. Для примера на Рис.1 показаны графики почасовых ставок на электроэнергию с 8 по 14 июня 2020 года. При этом разница между наибольшей и наименьшей ценой в сутках составляет около 11%. На Рис.2 приведены цены за 8 июня 2020 года с выделением наибольших и наименьших цен.

Потенциал сокращения затрат путем сглаживания пика нагрузки лежит в диапазоне часов, установленных коммерческим оператором для расчета мощности в месяце. Анализ часов для расчета фактической величины мощности на розничном рынке за период с января по июнь 2020 года, установленных АО «АТС» для АО «Татэнергосбыт», показал, что во всех месяцах присутствуют дни, когда для расчета используется значение мощности за 10-й и 11-й часы. При этом в январе и феврале (зимний период) также присутствуют дни с расчетом за 17-й и 18-й часы, а в марте-июне вместо них присутствуют 13-й, 14-й, 15-й и 21-й часы.

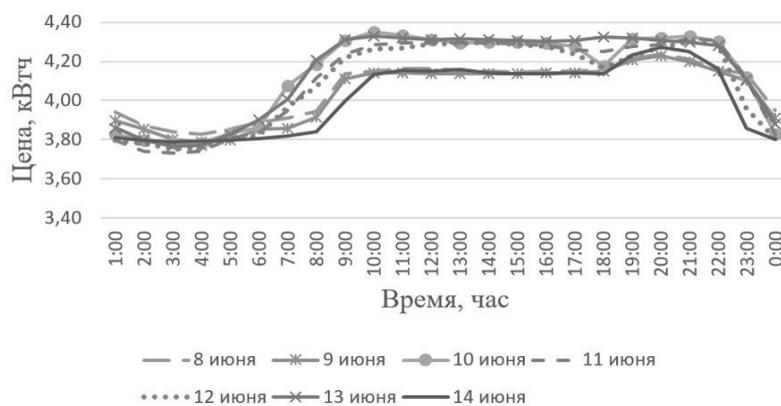


Рис.1. Графическое изображение цен с 8 по 14 июня 2020 года

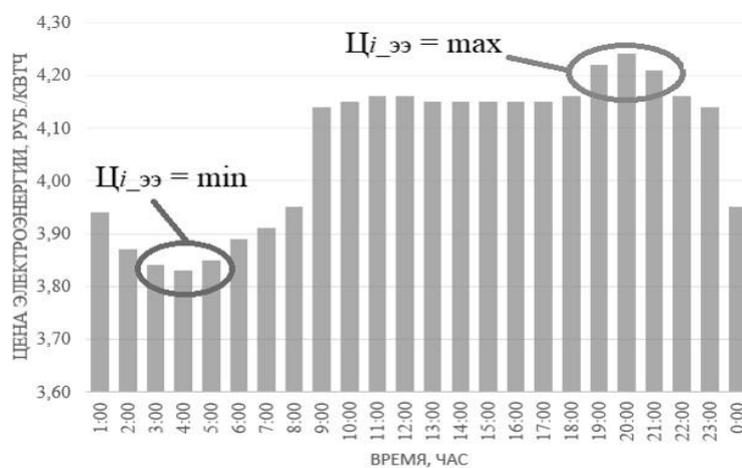


Рис.2. Почасовые ставки за электрическую энергию предельного уровня нерегулируемых цен для третьей ценовой АО «Татэнерго» на 8 июня 2020 года



Рис. 3 Суточный график нагрузок предприятия 8 июня 2020 года

На Рис.3 изображен суточный график нагрузок для завода ООО «ПРОМЭНЕРГО». Можно заметить, что максимальная пиковая нагрузка достигается в промежутке от 11:00 до 13:00. Далее идет спад. Также имеются локальные максимумы и минимумы. Локальные максимумы: 9:00-10:00, 16:00-17:00. Локальные минимумы: 10:00-11:00, 15:00-16:00, 21:00-22:00.

Параметры рассматриваемых систем накопления энергии

На основе анализа нагрузок предприятия было принято решение рассмотреть два номинала мощности системы накопления энергии (СНЭ). В первом варианте СНЭ должна обеспечивать выдачу мощности порядка 8 кВт, во втором варианте – 15 кВт. При этом данные СНЭ будут обеспечивать выдачу мощности в течение четырех часов. С учетом рекомендаций [15] по обеспечению наилучшего режима эксплуатации аккумуляторов на базе литий-ионной технологии была принята глубина разряда равная 80%. Таким образом, установленная мощность требуемых СНЭ должна составлять 10 и 19 кВт, а емкость 40 и 76 кВт*час соответственно. По данным российского поставщика систем накопления энергии на базе литий-ионных аккумуляторов стоимость накопителя мощностью 10 кВт составляет около 940 000 рублей, а мощностью 19 кВт – 1 900 000 рублей.

Таблица 1. Диапазоны высоких и низких цен и нагрузок на июнь

Номер часа	Часы высоких цен на электроэнергию	Часы низких цен на электроэнергию	Часы пиковой нагрузки предприятия	Часы минимум нагрузки предприятия	Часы для расчета мощности
0					
1		x			
2		x			
3		x		x	
4		x		x	
5		x		x	
6				x	
7				x	
8					
9			x		
10				x	x
11	x		x		x
12			x		
13					x
14					x
15				x	x
16			x		
17	x				
18	x				
19	x				
20	x				
21				x	
22					
23					

В Таблице 1 приведены часовые диапазоны, которые могут быть использованы для снижения суммы счета за электроэнергию и мощность путем ценового арбитража и сглаживания пиков нагрузки, а также часы пика и минимум потребления предприятия.

Сопоставив часы низких цен на электроэнергию с часами минимальной нагрузки предприятия, а часы высоких цен на электроэнергию и часы для расчета мощности с часами пиковой нагрузки предприятия, было принято, что накопители будут заряжаться ночью в промежутке от 00:00 до 6:00, а использоваться в часы пиковой нагрузки от 9:00 до 12:00 и 20:00 до 21:00.

Сумма оплаты за электроэнергию и мощность без накопителя

В качестве типового дня для расчетов было выбрано 8 июня 2020 года. В Таблице 2 приведены данные о потреблении электроэнергии предприятием и почасовые цены на электроэнергию для третьей часовой категории в этот день.

Таблица 2. Часовое потребление электроэнергии и его стоимость без накопителей

Номер часа	Потребление, кВт	Цена за кВтч, руб	Сумма, руб
0	13	3,95	51,33
1	13,15	3,94	51,84
2	13,75	3,87	53,21
3	9,85	3,84	37,83
4	9,75	3,83	37,32
5	10,1	3,85	38,91
6	9,85	3,89	38,31
7	10,5	3,91	41,06
8	12,5	3,95	49,34
9	19,85	4,14	82,14
10	21,7	4,15	90,02
11	21,4	4,16	89,07
12	23,5	4,16	97,79
13	22,95	4,15	95,35
14	21,35	4,15	88,60
15	18,85	4,15	78,16
16	19,25	4,15	79,88
17	20,25	4,15	84,06
18	18,4	4,16	76,55
19	18,1	4,22	76,34
20	16,25	4,24	68,89
21	10,75	4,21	45,28
22	12,75	4,16	53,01
23	12,75	4,14	52,74
Итого			1557,04

Таблица 3. Часы для расчета фактической величины мощности на розничном рынке и потребление за эти промежутки без накопителей за июнь 2020 года

Дата	Порядковый номер часа для расчета мощности	Потребление в указанный час без накопителей, кВт
01.06.2020	14	22,95
02.06.2020	10	21,7
03.06.2020	10	21,7
04.06.2020	11	21,4
05.06.2020	10	21,7
08.06.2020	13	22,95
09.06.2020	11	21,4
10.06.2020	15	18,85
11.06.2020	10	21,7
15.06.2020	10	21,7
16.06.2020	10	21,7
17.06.2020	14	22,95
18.06.2020	14	22,95
19.06.2020	10	21,7
22.06.2020	10	21,7
23.06.2020	10	21,7
25.06.2020	15	18,85
26.06.2020	11	21,4
29.06.2020	14	21,35
30.06.2020	11	21,4

В последнем столбце Таблицы 2 показана сумма к оплате за потреблённую электроэнергию, определенная для каждого часа согласно формуле:

$$Z_{ээi} = E_i \times C_i \quad (4)$$

Например, для 1-ого часа: $Z_{ээ1} = 13,15 \times 3,94 = 81,84$ руб.

Итоговая сумма за месяц рассчитана по формуле (2) и составляет 46711,2 рубля.

Согласно данным АО «Татэнергосбыт» цена за 1 кВт для потребителей с максимальной мощностью принадлежащих им энергопринимающих устройств от 670 кВт до 10 МВт в июне 2020 года составляет 881 рубль. В Таблице 3 приведены часы для расчета фактической величины мощности на розничном рынке и потребление за эти промежутки без накопителей за июнь 2020 года.

Рассчитанная по формуле (3) плата за мощность за июнь 2020 года составляет 19020,79 рублей. Итоговая сумма счета к оплате, выставляемая энергоснабжающей организацией предприятию, определенная по формуле (1), за рассматриваемый месяц составляет:

$$Z = Z_{ээ} + Z_M = 46711,2 + 19020,79 = 65731,99 \text{ руб.}$$

На Рис.4 показан суточный график электропотребления предприятия после установки накопителей.



Рис. 4 Суточный график электропотребления предприятия после установки накопителей для 8 июня 2020 года

Таблица 4. Часовое потребление электроэнергии и его стоимость с накопителями

Номер часа	СНЭ мощностью 10 кВт		СНЭ мощностью 19 кВт	
	Потребление, кВт	Сумма, руб	Потребление, кВт	Сумма, руб
0	13	51,33	13	51,33
1	18,15	71,55	23,15	91,27
2	18,75	72,55	23,75	91,90
3	14,85	57,03	19,85	76,24
4	14,75	56,45	19,75	75,59
5	15,1	58,17	20,1	77,43
6	16,85	65,54	19,85	77,21
7	10,5	41,06	10,5	41,06
8	12,5	49,34	12,5	49,34
9	19,85	82,14	19,85	82,14
10	13,7	56,84	6,7	27,80
11	13,4	55,77	6,4	26,64
12	23,5	97,79	23,5	97,79
13	22,95	95,35	22,95	95,35
14	13,35	55,40	6,35	26,35
15	10,85	44,99	3,35	13,89
16	19,25	79,88	19,25	79,88
17	20,25	84,06	20,25	84,06
18	18,4	76,55	18,4	76,55
19	18,1	76,34	18,1	76,34
20	16,25	68,89	16,25	68,89
21	10,75	45,28	10,75	45,28
22	12,75	53,01	12,75	53,01
23	12,75	52,74	12,75	52,74
Итого		1548,07		1538,07

В Таблице 4 приведены данные о потреблении электроэнергии предприятием после установки накопителей и определенные по формулам (4) и (1) суммы оплаты.

За месяц сумма оплаты за потребленную электроэнергию при установке СНЭ 10 кВт будет равняться:

$$Z_{\text{э}} = 1548,07 \times 30 = 46442,1 \text{ руб.}$$

За месяц сумма оплаты за потребленную электроэнергию при установке СНЭ 19 кВт будет равняться:

$$Z_{\text{э}} = 1538,07 \times 30 = 46142,1 \text{ руб.}$$

В Таблице 5 приведены часы для расчета фактической величины мощности на розничном рынке и потребление за эти промежутки с накопителями за рассматриваемый месяц.

Таблица 5. Часы для расчета фактической величины мощности на розничном рынке и потребление за эти промежутки с накопителями за июнь

Дата	Порядковый номер часа для расчета мощности	Потребление в указанный час с накопителями мощностью 10 кВт, кВт	Потребление в указанный час с накопителями мощностью 19 кВт, кВт
01.06.2020	14	13,35	6,35
02.06.2020	10	13,7	6,7
03.06.2020	10	13,7	6,7
04.06.2020	11	13,4	6,4
05.06.2020	10	13,7	6,7
08.06.2020	13	29,95	22,95
09.06.2020	11	13,4	6,4
10.06.2020	15	10,35	3,35
11.06.2020	10	13,7	6,7
15.06.2020	10	13,7	6,7
16.06.2020	10	13,7	6,7
17.06.2020	14	13,35	6,35
18.06.2020	14	13,35	6,35
19.06.2020	10	13,7	6,7
22.06.2020	10	13,7	6,7
23.06.2020	10	13,7	6,7
25.06.2020	15	10,35	3,35
26.06.2020	11	13,4	6,4
29.06.2020	14	13,35	6,35
30.06.2020	11	13,4	6,4

Рассчитанная по формуле (3) сумма оплаты за мощность при установке СНЭ мощностью 10 кВт составляет 12320 рублей, при установке СНЭ мощностью 19 кВт – 6211,05 рублей.

Итоговая сумма счета к оплате, выставяемая энергоснабжающей организацией предприятию, определенная по формуле (1), за рассматриваемый месяц с СНЭ мощностью 10 кВт составляет:

$$Z = Z_{\text{ЭЭ}} + Z_M = 46442,1 + 12320 = 58762,1 \text{ руб.}$$

Сумма счета с СНЭ мощностью 19 кВт равна:

$$Z = Z_{\text{ЭЭ}} + Z_M = 46142,1 + 6211,05 = 52353,15 \text{ руб.}$$

Обсуждение результатов

Итоговая сумма меньше на 25,6% при использовании СНЭ мощностью 19 кВт и на 12% при использовании СНЭ мощностью 10 кВт. Экономия равна 13 378,84 руб. и 6 969,89 руб. в месяц соответственно. Приняв допущение о том, что этот месяц типовой, экономия на оплате за электроэнергию и мощности в год составит для варианта с установкой СНЭ мощностью 10 кВт 83638,68 рублей, для варианта с установкой СНЭ мощностью 19 кВт 160546,08 рублей.

В результате анализа цен на мощность по архивным документам АО «Татэнергосбыт» было выяснено, что каждый год данная цена увеличивается примерно на 15-20%. Например, в марте 2018 года цена за 1 МВт мощности составляла порядка 637 тысяч рублей, в 2019 – 760 тысяч рублей, в 2020 – 881 тысяч рублей. Моделирование и практика использования литий-ионных аккумуляторов [8, 9, 16] показала, что при расчете окупаемости проектов с их применением большое значение имеет учет постепенной деградации емкости батарей. Как показал опыт [8], степень деградации может варьироваться в широких пределах и зависит от режимов эксплуатации накопителя, вида литий-ионной технологии и параметров на момент начала эксплуатации. Кроме того, хотя литий-ионные аккумуляторы считаются малообслуживаемыми установками, тем не менее при оценке инвестиционных проектов консалтинговыми и аналитическими агентствами [17, 18] в ежегодные расходы включается фиксированная величина от 1,5 до 3% от капитальных затрат на эксплуатационное обслуживание. Принимая ежегодный рост цен на мощности 10% (позитивный прогноз), ежегодную степень деградации 10% (с учетом эксплуатации в рекомендованных диапазонах температур окружающей среды и максимальной глубины разряда в одном цикле 80%) и размер фиксированных ежегодных расходов на обслуживание 2% был составлен прогноз срока окупаемости для рассмотренных систем накопления энергии. Расчеты показали, что система накопления мощностью 10 кВт окупается за 8 лет, а СНЭ мощностью 19 кВт окупится через 9 лет эксплуатации.

Выводы

Результаты данного исследования показывают, что системы накопления энергии имеют реальные перспективы развития как в мире, так и в России. Установка накопителя у промышленного потребителя, т.е. «за счетчиком», может быть целесообразной для оптимизации затрат на электроснабжение в условиях

Республики Татарстан уже сегодня. Так, например, при третьей ценовой категории при использовании накопителей можно сэкономить до 13 тысяч рублей в месяц (в год 160 тысяч рублей).

При существующей на рынке цене на литий-ионные аккумуляторы окупаемость системы составляет 7-8 лет, что ниже срока службы аккумуляторных батарей. Следовательно, при дальнейшей эксплуатации в течение нескольких лет такие системы будут обеспечивать значительную экономию затрат на электроснабжение. Если учитывать, что производитель данной системы накопления энергии гарантирует срок службы 15 лет, то опираясь на проделанный авторами расчет, при предполагаемом росте цены на покупку мощности, чистая прибыль от установки накопителя будет равна капитальным вложениям в его установку.

Для получения максимальной прибыли от установки накопителя необходимо точно прогнозировать пиковую нагрузку предприятия и часы максимума нагрузки в регионе. В дальнейшем создание алгоритмов прогнозирования и систем оптимального управления системами накопления энергии будет способствовать повышению эффективности систем накопления энергии и ускорит их внедрение.

Поступила 09.09.2020 г.

Литература

1. Иванов В.А. Анализ энергозатрат в различных отраслях промышленности // Интернет-журнал «Науковедение». 2015. Т. 7. №1. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/144TVN115.pdf> (дата обращения: 08.09.2020). DOI: 10.15862/144TVN115.
2. Ошурков М.Г., Исаев А.С. Выбор ценовой категории потребителем при заключении договора энергоснабжения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. №8. С. 50-58. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-tsenovoy-kategorii-potrebitелеm-pri-zaklyuchenii-dogovora-energосnabzheniya> (дата обращения: 01.09.2020).
3. BNEF: Energy to storage increase 122X by 2040 // Renewable Energy World. 2019. Режим доступа: <https://www.renewableenergyworld.com/2019/07/31/bnef-energy-storage-increase-122x-by-2040/#gref> (дата обращения: 01.09.2020).
4. DOE OE Global Energy Storage Database // Sandia National Laboratories. 2019. Режим доступа: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database/> (дата обращения: 21.04.2020).
5. Sumper A. Micro and Local Power Markets. Hoboken, NJ: John Wiley&Sons, Inc. 2019. 272 p.
6. Omrani M.M., Jannesari H. Economic and environmental assessment of reusing electric vehicle lithium-ion batteries for load leveling in the residential, industrial and photovoltaic power plants sectors // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019. Vol.116. DOI:10.1016/j.rser.2019.109413.
7. Elma O., Selamogullari U.S. Investigation of Cost Reduction in Residential Electricity Bill using Electric Vehicle at Peak Times // Power, Control and Optimization. Lecture Notes in Electrical Engineering. 2013. Vol.239. DOI: 10.1007/978-3-319-00206-4_8.

8. Kim, S.K., Cho K.H., Kim J.Y., Byeon G. Field study on operational performance and economics of lithium-polymer and lead-acid battery systems for consumer load management // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol.113. DOI:10.1016/j.rser.2019.06.041.
9. Rallo H., Casals L.C., De La Torre D., Reinhardt R., Marchante C., Amante B. Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: ageing and economic analysis in two real cases // *Journal of Cleaner Production*. 2020. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.122584 80.
10. Liu J., Zhang N., Kang C., Kirschen D., Xia Q. Cloud energy storage for residential and small commercial consumers: A business case study // *Applied Energy*. 2017. Vol.188. Pp. 226–236. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.11.120.
11. Heymans C., Walker S.B., Young S.B., Fowler M. Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling // *Energy Policy*. 2014. Vol.71. Pp. 22–30. DOI:10.1016/j.enpol.2014.04.016.
12. Извеков Е.А. Оценка эффективности вторичного использования АКБ в качестве хранилища энергии // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2017. № 4 (55). С.150-156 DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.150.
13. Шклярский А.Я., Иванченко Д.И., Яковлева Э.В. Экономическое обоснование метода регулирования электропотребления предприятия с применением аккумуляторных батарей на примере обогатительной фабрики ОАО «УРАЛКАЛИЙ» // *Российский экономический интернет-журнал*. 2018. №2. С.104-115.
14. Брагин А.А. Алгоритм формирования графиков электрических нагрузок предприятия с применением аккумуляторных батарей в качестве потребителей-регуляторов мощности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Брагин Антон Александрович; [Место защиты: Нац. минерально-сырьевой ун-т "Горный"].- Санкт-Петербург, 2013. 130 с.
15. BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries // *Battery University*. 2019. Режим доступа: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries (дата обращения: 07.07.2020).
16. Corengia M., Torres A.I. Effect of Tariff Policy and Battery Degradation on Optimal Energy Storage // *Processes*. 2018. Vol.6. №204. DOI: 10.3390/pr6100204.
17. Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage // *Lazard*. 2019. Режим доступа: <https://www.lazard.com/media/451087/lazards-levelized-cost-of-storage-version-50-vf.pdf> (дата обращения: 07.07.2020).
18. Cole W., Frazier A.W. Cost Projections for Utility-Scale Battery Storage // *National Renewable Energy Laboratory*. 2019. Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73222.pdf> (дата обращения: 07.07.2020).

B.Kh.Valiev, A.G.Logacheva, Yu.N. Zatsarinnaya

ENERGY STORAGE SYSTEMS AS A TOOL FOR OPTIMIZING ELECTRICITY COSTS // *Transactions of Academenergo*. -2020. -№3.-P.P. 81-95.

e-mail: bulatvaliev98@icloud.com., logacheva.alla@yandex.ru, waysubbota@gmail.com

Kazan State Power Engineering University

Keywords: price categories, energy storage systems, retail market, payment for electricity, storage «behind the meter», cost reduction, lithium-ion battery, payback

Abstract

A key prerequisite for the development of a new electric power industry in Russia is a qualitative change in consumer behavior in the retail sector. For Russian industrial consumers costs of paying for consumed electricity and power during peak hours are quite high. Therefore, they have all reasons to install energy storage devices to reduce those costs. The main mechanisms for cost reducing in this case are the price arbitrage and peak shaving. The price arbitrage means buying electricity during low price hours. The peak shaving means reducing the maximum power during certain hours. We examined a low-power industrial enterprise that purchases electric energy from a supplier at third price category. When consumer uses third price category the overall payment to power supply company consists of bill for electricity and bill for power capacity. The price for electricity varies for each hour of the day. While the price for power capacity is constant during the day the value of power capacity is measured during certain hours. Commercial operator sets the measuring hour for each day of the month. The study considered installation of storage units with power capacity of 10 and 19 kW, energy capacity of 40 and 79 kWh respectively at industrial enterprise. We forecasted the payback of those systems based on the current and forecasted prices for electricity, capacity and lithium-ion batteries in the Republic of Tatarstan. Calculations showed that installation of a storage device at an industrial consumer sight may be economically feasible in the conditions of the Republic of Tatarstan today.

References

1. Ivanov V.A. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*(Online magazine "Science studies"), 2015, Vol.7, 1. DOI: 10.15862/144TVN115.
2. Oshurkov M.G., Isaev A.S. *Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki* (Bulletin of the Tula State University. Technical science), 2014, 8, pp. 50-58.
3. BNEF: Energy to storage increase 122X by 2040, *Renewable Energy World*, 2019. Available at: <https://www.renewableenergyworld.com/2019/07/31/bnef-energy-storage-increase-122x-by-2040/#gref> (accessed 1 September 2020)
4. DOE OE Global Energy Storage Database, *Sandia National Laboratories*, 2019. Available at: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database/> (accessed 21 April 2020)
5. Sumper A. *Hoboken, NJ: John Wiley&Sons*, 2019.
6. Omrani M.M., Jannesari H. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, Vol.116. DOI:10.1016/j.rser.2019.109413.
7. Elma O., Selamogullari U.S., *Power, Control and Optimization. Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2013, Vol.239. DOI: 10.1007/978-3-319-00206-4_8.
8. Kim, S.K., Cho K.H., Kim J.Y. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, Vol.113. DOI:10.1016/j.rser.2019.06.041.
9. Rallo H., Casals L.C., De La Torre D., Reinhardt R., Marchante C., Amante B. *Journal of Cleaner Production*, 2020. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.122584 80.

10. Liu J., Zhang N., Kang C., Kirschen D., Xia Q. *Applied Energy*, 2017, Vol.188, pp. 226–236. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.11.120
11. Heymans C., Walker S.B., Young S.B., Fowler M. *Energy Policy*, 2014, Vol.71, pp. 22–30. DOI:10.1016/j.enpol.2014.04.016.
12. Izvekov E.A. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Voronezh State Agrarian University Bulletin), 2017, No. 4 (55), pp. 150-156. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2017.4.150.
13. Shkljarskij A.Ja., Ivanchenko D.I., *Jakovleva Je.V. Rossijskij jekonomicheskij internet-zhurnal* (Russian economic online magazine), 2018, No. 2, pp.104-115.
14. Bragin A.A. *Nac. mineral'no-syr'evoj un-t "Gornyj"* (National Mineral Resources University "Mining University"). Saint-Petersburg, 2013.
15. BU-808: How to Prolong Lithium-based Batteries, *Battery University*, 2019. Available at: https://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_prolong_lithium_based_batteries (accessed 7 July 2020)
16. Corengia M., Torres A.I. *Processes*, 2018, Vol.6., 204. DOI: 10.3390/pr6100204
17. Levelized Cost of Energy and Levelized Cost of Storage, *Lazard*, 2019. Available at: <https://www.lazard.com/media/451087/lazards-levelized-cost-of-storage-version-50-vf.pdf> (accessed 7 July 2020)
18. Cole W., Frazier A.W. *National Renewable Energy Laboratory*, 2019. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73222.pdf> (accessed 7 July 2020)