© А.Я. Рыбалко, С.В.Дыбрин, 2008

УДК 622.625.28-83.621.315

А.Я. Рыбалко, С.В.Дыбрин

ВЫБОР ЕМКОСТИ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СНИЖЕНИЯ МАКСИМУМА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ

Семинар № 22

В ряде публикаций, например в [1], анализируется использование накопителя энергии для решения проблем обеспечения бесперебойности энергоснабжения и снижения энергопотребления. Однако предложенные решения изложены для больших энергетических (электрических) систем. В данном докладе рассматривается вопрос применения накопителей непосредственно в месте подключения потребителя электро-энергии.

Применение накопителей, в том числе и в качестве многофункциональных устройств, делает возможным комплексно решить ряд задач. В качестве основных можно выделит такие [1]:

- снабжение электроэнергией потребителя с переменным графиком нагрузки при неизменной загрузке источника питания;
- поддержание постоянного уровня напряжения в месте подключения потребителей;
- регулирование обменных потоков энергии между потребителем и внешним источником.

Рассмотрение всего комплекса этих задач целесообразно разбить на ряд частных подзадач.

Определим, что основной функцией накопителя энергии можно считать обеспечение переменной части графика нагрузки потребителя при неизменной загрузке источника питания. Однако, чтобы накопитель энергии выполнял эту функцию он должен обладать достаточной мощностью и энергоемкостью.

Рассмотрим возможный вариант поиска энергоемкости и мощности накопителя, обеспечивающих выравнивание графика нагрузки со стороны источника питания. Для наглядности воспользуемся графиком зависимости потребляемой электровозом мощности от времени, снятым в штольне имени Володарского (Кизле) [2]:

Такой график электропотребления выявляет ряд отрицательных эффектов, среди которых: увеличение потерь энергии в сети ее передачи и распределения; снижение качества электроснабжения. Рассмотрим предельный случай, когда график электропотребления выравнивается полностью.

Проведённые исследования позволяют сформулировать для конкретного графика нагрузки алгоритм расчёта требуемой энергоемкости накопителя, обеспечивающей снижение максимума мощности, потребляемой энергии энергоустановкой, от внешнего источника.

1. Имея данные о динамике потребления оборудованием энергии за цикл (диаграмма, таблица – представление в аналитическом виде затруднительно), путем интегрирования определяется

энергопотребление за этот цикл. Так как зависимость мощности от времени представлена дискретными значениями, с этой целью можно воспользоваться одним из методов численного интегрирования, например, методом трапеций [3], согласно которому:

$$E = \int_a^b y\,dx =$$

$$= \frac{h}{2}\left(y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \ldots + 2y_{n-1} + y_n\right),$$

где h – шаг изменения времени; y_i – соответствующая каждому значению времени потребляемая мощность.

На рис. 1 величина E представлена заштрихованной площадью.

2. Рассчитывается мощность равномерного графика нагрузки, т.е. такой постоянный уровень мощности, при котором энергия, потребляемая оборудованием за время работы при обычном (неравномерном) графике нагрузки, равна энергии при графике нагрузке с постоянным уровнем мощности:

$$P_p = \frac{E}{t},$$

где t – промежуток времени, соответствующий исследуемой части графика нагрузки; E – электроэнергия, потребляемая за время t.

На рис. 1 P_p – ордината выровненного графика нагрузки представленного прямой линией.

3. Определяется наибольшая необходимая емкость накопителя $E_н^{\max}$, когда он заряжается всей необходимой энергией один раз за цикл – перед началом движения и расходует её без подзарядки. Для этого:

а) путем смещения графика нагрузки оборудования вниз на P_p и последующего зеркального отображения относительно оси абсцисс строится график нагрузки накопителя (из неравномерного вычитается равномерный график) – зависимость мощности накопителя от времени (рис. 2);

б) численными методами интегрируется и домножается на -1 отрицательная часть полученного графика.

4. Приняв, что перед циклом работы накопитель энергии полностью заряжен, т.е. имеет энергию $E_н^{\max}$, применяя метод численного интегрирования к каждому участку дискретизации всего графика нагрузки накопителя и суммируя накопительным итогом полученные результаты, строится график зависимости накопленной энергии от времени (рис 3).

5. Определяется уровень энергии, не участвующей в выравнивании графика нагрузки – минимальное значение на графике $E_{\min}$.

6. Устанавливается минимальная необходимая энергоемкость путем сравнивания разностей и выбора наибольшей:

$$E_н^{\min} = \mathrm{MAX}\left(\left(E_{нач.ц} - E_{мин}\right);\left(E_{\max} - E_{\min(t>t(\max))}\right)\right),$$

где $E_{нач.ц}$ – энергия в накопителе перед началом цикла работы; $E_{\min}$ – глобальный минимум на графике энергии накопителя; $E_{\max}$ – глобальный максимум на графике энергии накопителя; $E_{\min(t>t(\max))}$ – любой локальный минимум, следующий за максимумом $E_{\max}$.

7. Рассчитывается минимальный уровень накопленной энергии («мертвый объем»), определяемый условиями работы преобразователя и функциями, которые накопитель энергии должен выполнять [4]:

$$E_0 = 0,5\left(\frac{P_i^2}{P_н}\right)T_н,$$

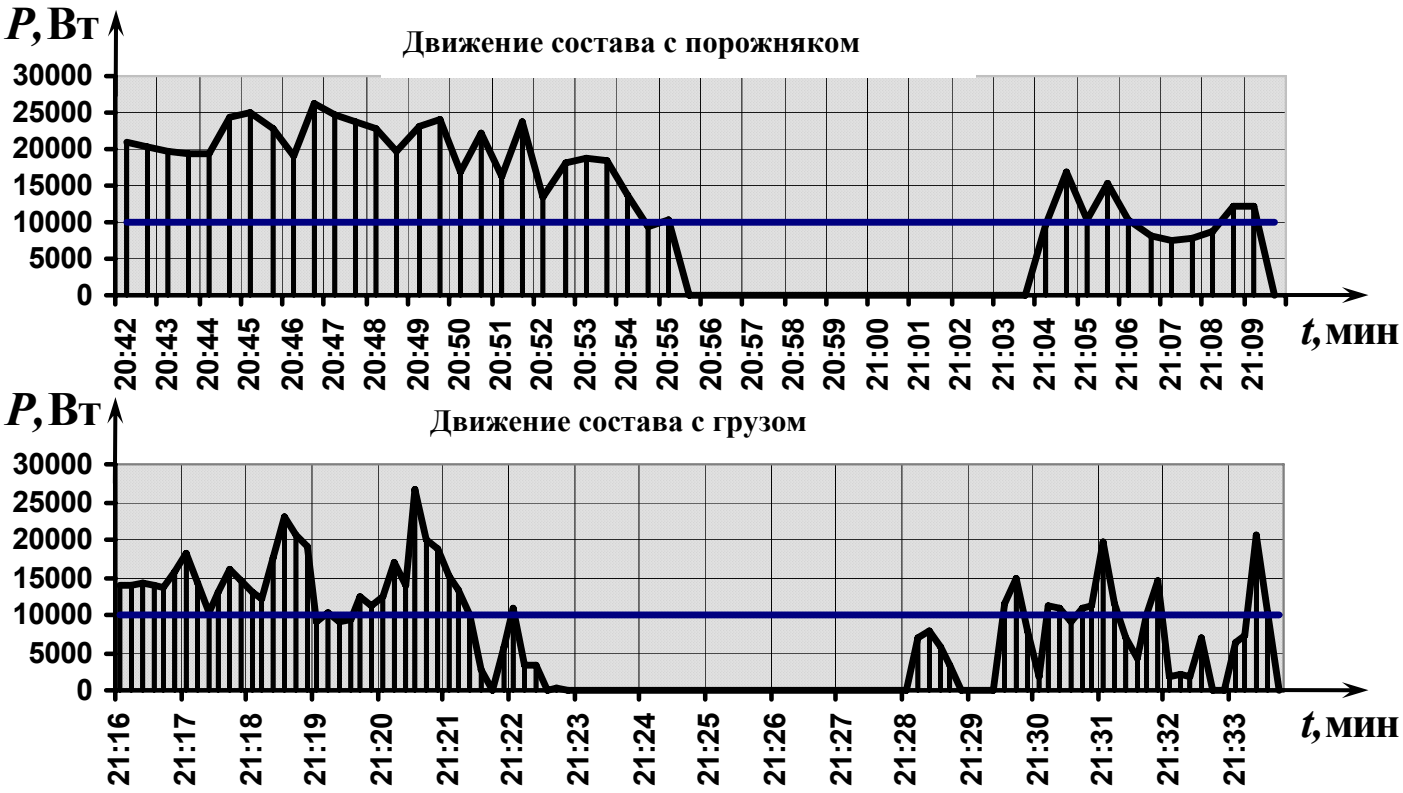

Рис. 1. Диаграммы нагрузки электровоза

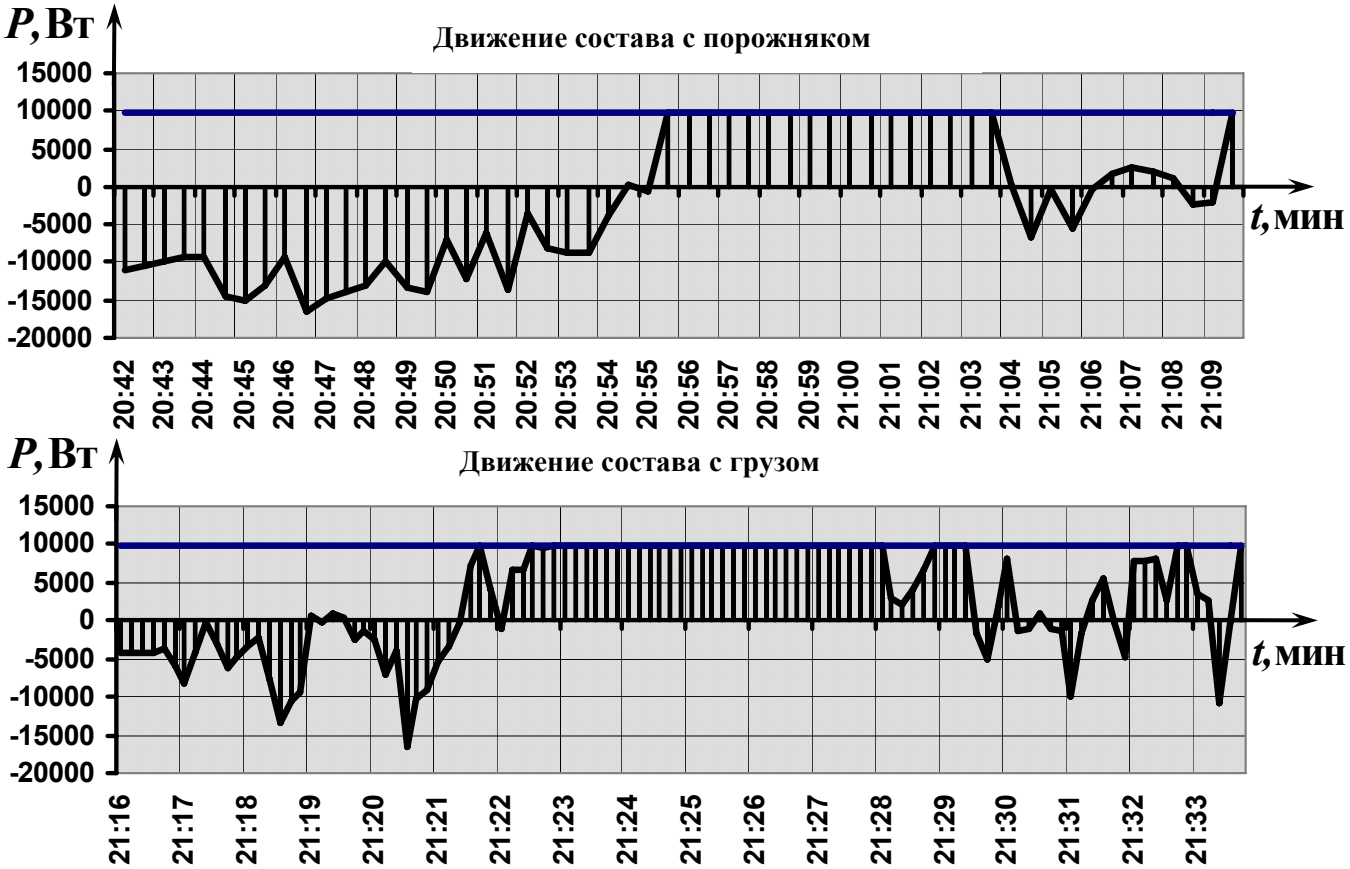

Рис. 2. Графики нагрузки накопителя энергии

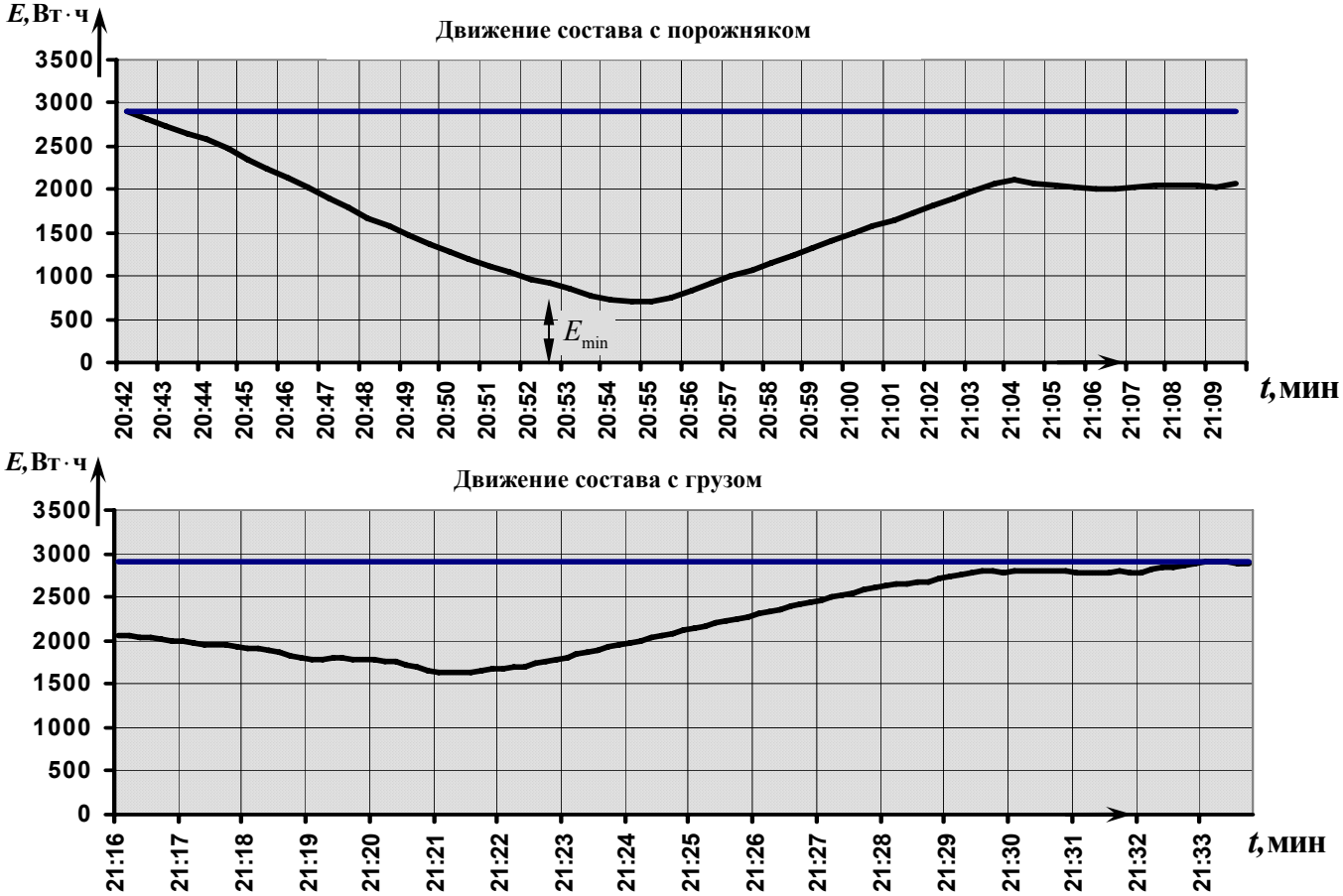

Рис. 3. График зависимости энергии в накопителе от времени при условии, что перед началом движения он заряжен до значения $E_н^{max}$ ***. Ёмкость накопителя*** $E_н^{max}$

где P_i – мощность, необходимая для осуществления i-ой функции (выравнивание графика нагрузки, поддержание уровня напряжения и т.д.); $P_н$ – наибольшая мощность накопителя; $T_н$ – постоянная времени, характеризующая скорость изменения мощности потребляемой или выдаваемой энергии, и определяемая известным отношением:

$$t_{раб} \le 3T_н,$$

где $t_{раб}$ – время работы накопителя (в режиме выравнивания графика нагрузки для нашего случая).

8. Рассчитывается уровень рабочей (без учета КПД) энергоемкости накопителя:

$$E_н^р = E_н^{\min} + E_0 .$$

Вычисления, произведённые для графика нагрузки, изображенного на рис. 1, показывают, что для обеспечения цикла работы ёмкость накопителя должна быть около $E_н^{\max} = 2907{,}12$ Вт·ч и что этот уровень может быть уменьшен до $E_н^{\min} = 2199{,}97\,\text{Вт}\cdot\text{ч}$, т.е. почти на 25%. Расчётное значение рабочей энергоёмкости составляет $E_н^р$=2935,3 Вт·ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Накопители* энергии в электрических системах: Учеб. Пособие для электроэнергет. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высш. шк., 1989. – 159 с.

2. *Волотковский С.А.* Рудничная электровозная тяга. - М.: Углетехиздат, 1951. - 400 с.

3. *Демидович Б.П., Марон И.А.* Основы вычислительной математики.- М.: Наука, 1966. - 664 с.

4. *Астахов Ю.Н., Веников В.А., Иванов А.М. Лидоренко Н.С.,* Мучник Г.Ф., Тер-Газарян А. Г., Харитонов В.Ф. Функциональные возможности накопителей электрической энергии в энергосистемах // Электричество. 1983. №4. С. 1-7.

5. *Оптимизация* графика электрической нагрузки с применением накопителя энергии.– Збірник наукових праць НГУ № 24 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2004. - С. 176-181. ГИАБ

Коротко об авторах

Рыбалко А.Я. – профессор кафедры СЭС, директор ИЗДО, кандидат технических наук, кафедра систем электроснабжения НГУ, Днепропетровск,

Дыбрин С.В. – аспирант кафедры СЭС, кафедра систем электроснабжения НГУ, Днепропетровск.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 22 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.В. Ляхомский.*