

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРЯДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Наумов И.В., Безносик Ю.А., Ткач В.В.

Национальный технический университет Украины «КПИ», ihor.naumov@gmail.com

Жизнь современного общества невозможна без широкого использования химических источников тока (ХИТ). Разработка новых источников тока неосуществима без определенных экспериментальных исследований, однако некоторые экспериментальные опыты требуют большого времени проведения. Важной характеристикой работы ХИТ является его разрядная кривая, показывающая изменения напряжения во времени. В процессе работы ХИТ, т.е. в процессе его разряда возрастает поляризация элемента, уменьшается электродвижущая сила, растет внутреннее сопротивление. Поэтому, наблюдается неуклонное падение напряжения ХИТ во времени по мере разряда. Разрядную кривую представляют в виде зависимости напряжения от времени разряда, с обязательным указанием тока разряда. Разрядные кривые ХИТ позволяют наглядно судить о поведении тех или иных источников в заданных условиях их эксплуатации, а так же сравнивать эти источники тока между собой. Разрядные кривые ХИТ обычно получают при ограниченном количестве значений разрядного тока и, поэтому, они не охватывают всех возможных условий их эксплуатации. Кроме того, получение разрядных кривых требует большого экспериментального времени.

При выборе ХИТ необходимо решать вопросы, связанные с прогнозированием выходных электрических характеристик источника тока в условиях, не описанных разрядными кривыми. Для этого не обходимо иметь математические зависимости разрядных характеристик ХИТ. Целью данной работы есть разработка математической модели и компьютерной программы, которые описывали поведение ХИТ в широких границах их эксплуатации и позволяли прогнозировать емкость элементов при средних и малых токах и получать результаты прогнозирования в виде графиков разрядных кривых.

Первой математической моделью данного процесса было уравнение Пейкерта, который эмпирически установил, что емкость элемента $Q = I \cdot \tau$ при разряде элемента от полностью заряженного к полностью разряженному обратно пропорционально разрядному току I в степени n :

$$Q(I, U_0) = K(U_0) / I^n, \quad (1)$$

где U_0 – начальное значение разрядного напряжения, τ – время разряда элемента, K – константа, n – число Пейкерта.

Константа K зависит не только от типа ХИТ, но и от других факторов, например температуры. Температурная поправка может быть учтена выражением:

$$K = K_0(1 + \lambda\theta), \quad (2)$$

где θ – температура, K_0 и K – величины при 0°C и $\theta^\circ\text{C}$.

Тогда уравнение (1) можно представить в виде:

$$Q = \frac{K_0(1 + \lambda\theta)}{I^n}. \quad (3)$$

Однако формулы (1) или (3) нельзя использовать при малых токах, так как при $I \rightarrow 0$ $Q \rightarrow \infty$, что лишено физического смысла. При снижении тока разрядная емкость практически ограничена величиной Q_M – максимальной разрядной емкостью элемента. Согласно уравнению Пейкерта, значению Q_M отвечает ток I_H – номинальная сила разрядного тока:

$$Q I^n = Q_M I_H^n = K. \quad (4)$$

Уравнение (4) можно представить в следующем виде:

$$Q = Q_M / (I / I_H)^n. \quad (5)$$

Анализ экспериментальных кривых «разрядная емкость элемента – средний ток разряда» свидетельствует, что они хорошо описываются гиперболической функцией, которую получают из уравнения (5):

$$Q = Q_M \operatorname{th}(I / I_H)^n / (I / I_H)^n \quad (6)$$

Действительно, уравнение (6) переходит в уравнение Пейкerta (5):

- 1) при $I \gg I_H$ $\operatorname{th}(I / I_H)^n \rightarrow I$ мы получаем уравнение (5);
- 2) при $I \ll I_H$ $\operatorname{th}(I / I_H)^n / (I / I_H)^n \rightarrow 1$ разрядная емкость элемента Q стремится к значению Q_M .

По экспериментальным данным разряда элементов ОВЛ-2325, ВСЛ-2325 и ДСЛ-2325 по уравнению (6), с учетом методов приближения функций, получены соответствующие аналитические зависимости:

- для элемента ОВЛ-2325: $Q = 328 \operatorname{th}(I / 0,99)^{0,73} / (I / 0,99)^{0,73}$;
- для элемента ВСЛ-2325: $Q = 330 \operatorname{th}(I / 1,42)^{0,81} / (I / 1,42)^{0,81}$;
- для элемента ДСЛ-2325: $Q = 158 \operatorname{th}(I / 0,80)^{0,61} / (I / 0,80)^{0,61}$.

По полученным аналитическим зависимостям легко может быть проведено сравнение электрических характеристик ХИТ. Так, для элементов ОВЛ-2325 и ВСЛ-2325 при приблизительно одинаковых величинах максимальной и номинальной емкости, значения номинального тока значительно отличаются в пользу элемента ВСЛ-2325, у которого $I_H = 1,42$ мА, против $I_H = 0,99$ мА для элемента ОВЛ-2325. Поэтому, элемент ВСЛ-2325 отдает 76% максимальной емкости при токовой нагрузке почти в 1,5 раза большей, чем для элемента ОВЛ-2325.

По полученным зависимостям можно прогнозировать емкости ХИТ на средние и низкие нагрузки по току. При этом используют следующие соотношения, получаемые путем преобразования формулы Пейкerta для двух значений Q и I :

$$n = \frac{\lg Q_2 - \lg Q_1}{\lg I_1 - \lg I_2}, \quad K = Q_1 I_1^n = Q_2 I_2^n, \quad I_H = (K / Q_M)^{1/n}.$$

На основе предложенной методике было разработано программное обеспечение для автоматизированного расчета разрядных характеристик ХИТ в программной среде JAVA.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СУСПЕНЗИЙ ПРИ ВВЕДЕНИИ РАЗБАВИТЕЛЯ

Брановицкая С.В., Бондаренко С. Г.

Национальный технический университет Украины «КПИ», sgb@xtf.ntu-kpi.kiev.ua

Разделение высоковязких суспензий вызывает определенные трудности в различных отраслях промышленного производства. Понижение вязкости таких суспензий осуществляется введением разбавителя в исходную суспензию. При введении разбавителя вязкость жидкой фазы суспензии уменьшается, что приводит к повышению скорости процесса разделения. С другой стороны введение разбавителя приводит к увеличению объема разделяемой суспензии, а, следовательно, и времени процесса разделения. Таким образом, указанные факторы действуют на продолжительность операции разделения в противоположном направлении. В каждом конкретном случае существует определенная степень разбавления исходной суспензии, при которой продолжительность операции разделения достигает минимума, а производительность установки, на которой проводят