

управління обтіканням, яка відповідає значенням  $c_{\mu} = 0,01-0,015$  в діапазоні чисел  $M_0 = 0,4-0,8$ , рівень вібронапруження в порівнянні з початковим може бути зменшений на 90–95%, тобто практично усуваються коливання лопаток. При інтенсивності управління аеродинамічними слідами, вищій за оптимальні значення, спостерігається знову ріст вібронапружень, обумовлений коливаннями лопаток.

### **Висновки**

Газодинамічне управління обтіканням елементів статора може забезпечити зниження рівня вібронапружень в лопатках ротора компресора при резонансних коливаннях на небезпечних режимах.

**Список літератури:** 1.Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин [Текст] / Г.С. Самойлович. – М.: "Наука", 1969. 2.Кулагина В.А. Приближенный расчет аэродинамического возбуждения и демпфирования резонансных колебаний лопаток компрессора [Текст]: сб. "Лопаточные машины и струйные аппараты". – М.: "Машиностроение", 1968. – № 4. 3.Вибрации турбинных лопаток, возникающие под влиянием закрученных следов лопаток соплового аппарата [Текст]: сб. "Труды американского общества инженеров-механиков", серия "Энергетические машины и установки". – М.: «Мир», 1970. – № 1. 4.Самойлович Г.С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин [Текст] / Г.С. Самойлович. – М., "Машиностроение", 1975. 5.Терещенко Ю.М. Исследование методов снижения уровня вибронапряжений в элементах турбомашин [Текст]: сб. "Проблемы прочности" / АН УССР. – К., 1974. – № 10. 6.Биргер И.А. Расчет лопаток на прочность. Руководство для конструкторов по расчету на прочность газотурбинного двигателя [Текст]: вып. 2. – М.: Оборонгиз, 1956. 7.Авт. свид. № 411232. Способ устранения неравномерности потока за лопатками статора осевого компрессора [Текст] / Терещенко Ю.М. – опубл. Бюл. «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки», 1974. – №2.

*Поступила в редколлегию 12.05.2011*

**УДК 629.7: 621.3**

**М. Н. НАКАЗНЕНКО**, асс., НАУ «ХАИ», Харьков

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АККУМУЛЯТОРА В КОМПЛЕКСНОЙ АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКЕ**

Установлено, що успішне вирішення задач моделювання розрядної характеристики електрохімічного накопичувача можливе за рахунок використання багатofакторних нейромережевих моделей. В результаті дослідження було запропоновано методіку побудови високоякісної нейромережевої математичної моделі та розроблено нейромережева модель, що дозволяє з високою точністю моделювати роботу електрохімічного накопичувача.

Установлено, что успешное решение задач моделирования разрядной характеристики электрохимического накопителя возможно за счет применения нейросетевых моделей. В результате исследования предложена методика построения высококачественной нейросетевой математической модели, позволяющая с высокой степенью точности моделировать работу электрохимического накопителя .

Its is defined, that the successful solution problems of modeling discharge performance of electrochemical storage is possible by using multi-neural network models. As a result of the study the method of constructing high-quality mathematical model of electrochemical storage was offered. The developed neural models that allow highly accurate modeling work electrochemical storage.

## Введение.

Электрохимические аккумуляторы, в настоящее время широко используются в автономных энергетических установках на основе альтернативных источников энергии, где требуется резервная электрическая энергия в период времени, когда основной генератор не может выполнять свои функции по ряду причин, в том числе и отсутствие энергоприхода.

Новые технологии производства аккумуляторных батарей позволяют улучшить удельную емкость, количество циклов заряда-разряда и другие характеристики, что делает химические накопители еще более привлекательными для использования в автономных системах энергоснабжения.

## Анализ проблемы

Бесперебойное обеспечение потребителя энергией предполагает наличие резервного источника. Выбор типа резервного источника определяется рядом факторов: скоростью введения в действие, потребляемой мощностью, наличием или отсутствием сети электроснабжения, географическим положением потребителя, допустимыми затратами и др.

Современная автономная система энергоснабжения на альтернативных источниках энергии может быть реализована по различной логике функционирования:

- система со сбросом избытка энергии;
- система с накопителем энергии;
- система с регулированием по приоритету нагрузки.

Учитывая то, что альтернативные источники энергии нестабильны по отношению к постоянству энергоприхода, то для них наиболее эффективной является схема с накоплением энергии (см. рис.1).

Накопители могут аккумулировать энергию

возобновляемых источников, как в ее исходном, так и в преобразованном виде. Достоинством схемы является высокая устойчивость энергоснабжения. Основные недостатки таких систем: их относительно высокая стоимость в сравнении с традиционными, сложность создания больших энергоустановок, применение сложных средств дистанционного управления. Кроме того после заряда накопителя энергии схема переходит в режим сброса избытка энергии.

Ввиду того, что в определенный момент работы автономной энергоустановки единственным источником энергии для потребителя может оказаться аккумулятор, его надежность является весьма важной. Поэтому не маловажным аспектом в организации автономных систем энергоснабжения является контроль и оперативная диагностика аккумулятора, то есть автоматизированный контроль и учёт ресурса. Это даст возможность вовремя



Рис.1 - Схема ветросолнечной автономной энергоустановки с накоплением энергии.

оценить текущую надежность аккумулятора и, при необходимости, заменить его новым. Неотъемлемым шагом на пути организации системы контроля и диагностики аккумулятора является построение качественной и адекватной математической модели накопителя, что в данной работе реализуется для электрохимического типа аккумулятора.

### **Постановка задачи**

Учитывая особенности контроля и диагностики электрохимического накопителя или батареи химической (БХ), задачей ее моделирования является отображение заряд-разрядных (ЗРХ) характеристик в пределах установленной точности. Модель БХ должна содержать в себе не только динамические зависимости, а и иметь составляющие позволяющие оценить зависимости емкости батареи от температуры, и других факторов существенно влияющих на ее работу. Модель также должна позволять отображать многотоковую разрядную и разрядную характеристику, ввиду того, что ток генератора, нагрузки, а соответственно и разрядный ток накопителя, не всегда постоянны, такая модель будет прогнозировать работу БХ на критических режимах, не подвергая опасности при этом самого аккумулятора. Учитывая многофакторность модели и поставленные выше задачи реализовать модель БХ можно методом нейронных сетей.

Построение моделей БХ в составе автономной системы энергоснабжения с помощью нейросетей состоит в том, что необходимо подобрать наилучшую, с точки зрения точности, структуру сети. А именно количество слоев сети, количество нейронов в каждом слое, и вид передаточной функции каждого нейрона.

### **Решение задачи**

Опыт показывает, что для задач аппроксимации, в том числе и ЗРХ, наилучше себя зарекомендовала трехслойная сеть, состоящая из входного слоя, скрытого слоя и выходного слоя. Такая структура устойчивая к переобучению и имеет сравнительно небольшое время обучения.

Учитывая то, что аппроксимируемая функция будет иметь два независимых (ток и время заряда или разряда) и один зависимый параметр (напряжение разряда или заряда) можно сразу определиться с количеством нейронов во входном и выходном слоях. В нейронной сети, не имеющей в своей структуре задержек, количество входных нейронов определяется количеством независимых параметров, а выходных – количеством зависимых.

Таким образом, сформирована структура сети, и количество нейронов во входном и выходном слоях. На следующем этапе необходимо определить количество нейронов в скрытом слое.

Выбор числа нейронов в скрытом слое производят различными способами но, ни один из них не является лучшим. Поэтому было принято решение проводить структуризацию скрытого слоя параллельно с обучением сети по алгоритму представленному на рис.2.

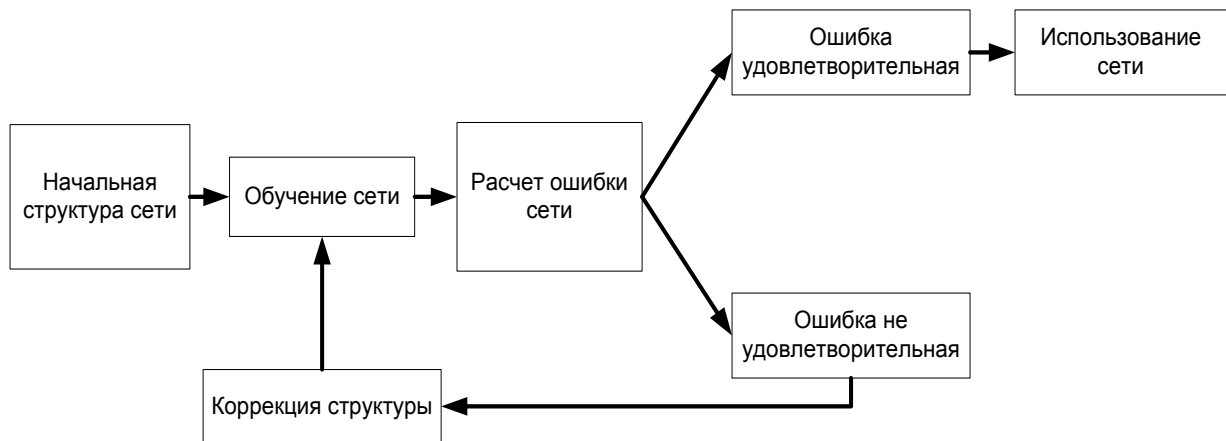


Рис.2- Блок-схема алгоритма построения сети.

Таким образом, алгоритм определения количества нейронов в скрытом слое сети состоит из этапов:

- 1) начальное количество нейронов в слое (в нашем случае 2 нейрона);
- 2) обучение сети;
- 3) проверка ошибки моделирования (среднеквадратическое отклонение);
- 4) в случае не удовлетворительной ошибки корректировка структуры слоя (добавляем 2 нейрона) и повторяем алгоритм, начиная с пункта 2;
- 5) в случае удовлетворительной ошибки, сеть готова к применению.

Количество добавляемых нейронов может изменяться, и в случае, когда ошибка после коррекции структуры начинает расти, но остается при этом неудовлетворительной необходимо произвести более тонкую настройку по тому же алгоритму, но только уменьшить количество вводимых нейронов. Тонкую настройку проводят, начиная из предыдущего шага грубого формирования сети, после начала роста ошибки.

В качестве метода обучения сети описания разрядных характеристик в кислотном аккумуляторе выберем, специально созданную для аппроксимации многомерных нелинейных функций, классическую многослойную сеть с обучением по методу обратного распространения ошибки [1, 2].

Таким образом, разрядную характеристику будем представлять в виде суммы функций времени и тока:

$$U(I, t) = \varphi_L \left\{ \sum_{i=1}^n \left( WL_i \cdot \varphi_i \left[ I \cdot WI_i^I + t \cdot WI_i^t + b_i^1 \right] + b^2 \right) \right\} \quad (1)$$

Где  $WL$ ,  $WI^I$  и  $WI^t$ - вектора весов синапсов между скрытым и выходным, и между входным и скрытым слоями нейронов соответственно, подлежащие определению;

$b^1$ ,  $b^2$  – вектора смещений каждого нейрона скрытого и выходного слоя соответственно (подлежат определению).

$\varphi_L$ ,  $\varphi_i$  – функции активации нейронов скрытого и выходного слоя;

$n$  – количество нейронов в слое.

В качестве функций активаций нейронов скрытого слоя, ввиду явной нелинейности разрядных характеристик берем функцию гиперболического тангенса

Функция  $\varphi_L$  имеет линейный вид, т.е.  $\varphi_L(z) = z$

В результате формирования и обучения сети была получена сеть, моделирующая разрядную характеристику со структурой 2-14-1, при этом среднеквадратическое отклонение равно  $3,1567 \times 10^{-5}$ .

### Результаты моделирования

Результаты моделирования зарядных характеристик приведены на рис.3 Поверхностью черного цвета показана экспериментальная разрядная характеристика БХ, а серым - смоделированная.

В результате построения нейросетевой модели была получена адекватная математическая модель разрядных характеристик свинцового аккумулятора, с помощью которой можно на стадиях проектирования

автономных систем энергоснабжения на основе альтернативных источников энергии с допустимой погрешностью моделировать его работу.

### Выводы и рекомендации.

Рассматривая полученную модель, можно сделать ряд выводов.

К преимуществам модели такого типа можно отнести то, что модель более точно, чем аналитические аппроксимирует характеристики БХ. Однако здесь может возникнуть ряд сложностей в том, что если не проделать предварительной обработки данных сеть может промоделировать не только полезную составляющую характеристики, но и погрешность наблюдений. Поэтому на экспериментальные данные сразу накладываются условия, которые требуют высокой точности измерений, и предварительного факторного анализа и статистической обработки данных. К следующим преимуществам можно отнести способность сети к более точному и длительному прогнозированию характеристик. Что может ограничить время проведения экспериментов и исключить эксперименты, содержащие критические режимы работы БХ.

К недостаткам нейронного моделирования относят сложность формирования структуры сети, существующие алгоритмы требуют большого времени для ее структурирования.

Кроме того к недостаткам относят зависимость точности аппроксимации от выбранной функции активации нейрона. В то время как нет четкой классификации функций в зависимости от задач, поставленных перед сетью, этот фактор требует использования той или иной функции, принимая за гипотезу из опыта разработчика, что становится сложностью для начинающих исследователей, которые только начинают работать в сфере нейросетевого моделирования.

Таким образом, несмотря на существенные недостатки нейронных сетей, их преимущества делают нейромоделирование привлекательным для решения проблем проектирования, анализа и диагностики, как отдельных элементов, так и

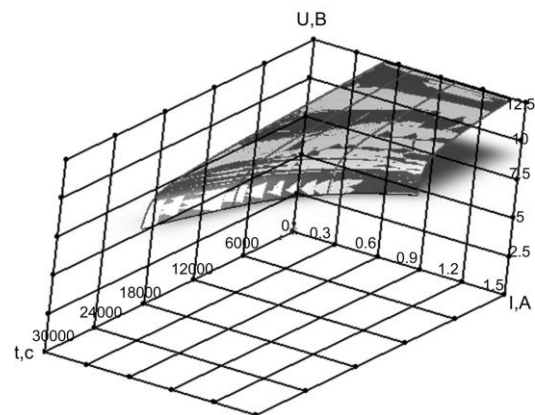


Рис. 3- Разрядная характеристика свинцового аккумулятора.

всей системы энергоснабжения в целом.

Разработчик автономных систем энергоснабжения, применяя нейросетевое моделирование, может активно использовать современные методы построения моделей электрохимических накопителей, при этом рассматривать ее как «черный ящик», не принимая во внимание сложные электрохимические и термодинамические процессы, проходящие в самом накопителе.

**Список литературы:** 1. *Bouchon-Meunier B. Technologies for Constructing Intelligent Systems 1: Tasks* / B. Bouchon-Meunier, J. Guiterrez-Rios, L. Magdalena and R. R. Yager. - Heidelberg: Springer-Verlag, 2002. – 458 p.2. *Хайкин С. Нейронные сети: полный курс* /С. Хайкин; пер. с англ.- М.: Изд.- дом «Вильямс». - 2006. – 1104 с

*Поступила в редколлегию 12.05.2011*