

CÁC PHƯƠNG PHÁP DỰ BÁO NHU CẦU ĐIỆN TRONG NGHIÊN CỨU CHÍNH SÁCH PHÁT TRIỂN NGÀNH NĂNG LƯỢNG

ĐOÀN VĂN BÌNH*

1. Mở đầu

Dự báo và lập kế hoạch là hai giai đoạn liên quan chặt chẽ với nhau của một quá trình quản lý. Tác dụng của dự báo nhu cầu điện đối với quản lý kinh tế nói chung và quản lý, phát triển ngành điện nói riêng là rất to lớn do điện năng có liên quan rất chặt chẽ với tất cả các ngành kinh tế quốc dân và sinh hoạt bình thường của nhân dân. Tuy vậy, dự báo nhu cầu tiêu thụ điện là một khoa học còn trẻ, trong đó nhiều vấn đề chưa hình thành trọn vẹn. Đối tượng nghiên cứu của khoa học này là các phương pháp dự báo, còn phạm vi ứng dụng của nó chính là các hiện tượng xã hội, kinh tế, khoa học và kỹ thuật... có ảnh hưởng đến tiêu thụ điện. Hầu hết các dự báo phụ tải điện đều dựa trên các mô hình toán học hoặc các mô hình thực nghiệm nhằm tìm ra các quy luật biến đổi của phụ tải điện trong chu kỳ xem xét.

Kinh nghiệm thực tế cho thấy, không có phương pháp dự báo chung cho mọi quá trình. Mỗi quá trình, mỗi ngành sản xuất có những đặc điểm riêng biệt, đồng thời ở mỗi lĩnh vực lại có những nét chung có thể sử dụng làm cơ sở cho việc thiết lập các mô hình dự báo. Việc phân tích, đánh giá các phương pháp dự báo nhu cầu phụ tải điện nhằm tìm ra những tính chất chung và riêng để có thể áp dụng cho những điều kiện cụ thể là vấn đề cần thiết để có thể chọn lựa mô hình dự báo nhu cầu điện thích hợp hết sức cấp thiết đối với sự phát triển hệ thống điện nước ta, đặc biệt trong bối cảnh các ngành kinh tế ở Việt Nam đang có những biến chuyển lớn.

2. Các phương pháp dự báo cơ bản

Hai cách tiếp cận chính đang được sử dụng rộng rãi để dự báo nhu cầu điện hiện nay, về bản chất, dựa vào hoặc là mô hình kinh tế lượng hoặc là mô hình phân tích kinh tế - kỹ thuật. Sự khác nhau cơ bản giữa hai cách tiếp cận là mức độ thu thập dữ liệu đầu vào. Bản chất của mô hình kinh tế lượng là dựa trên mối liên hệ của các nhân tố giá và thu nhập hoặc các thông số của hoạt động kinh tế khác có liên quan đến nhu cầu năng lượng. Các mô hình kinh tế lượng có ưu điểm là đòi hỏi dữ liệu ít hơn các mô hình phân tích kinh tế - kỹ thuật và có cơ sở vững chắc là lý thuyết thống kê. Thông thường, chúng được sử dụng cho tất cả các nhóm hộ sử dụng năng lượng và không xét đến cấu trúc công nghệ sử dụng năng lượng. Vì vậy, chúng được sử dụng khá rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới.

Cách tiếp cận thứ ba dựa vào kỹ thuật trí tuệ nhân tạo, mà một trong những ứng dụng của nó là mạng neuron nhân tạo, đang được phát triển và ứng dụng ngày càng nhiều trong dự báo nhu cầu điện tại nhiều nước vì tính linh hoạt và năng lực suy diễn tiềm tàng của nó. Đây là một hướng tiếp cận mới, có khả năng đáp ứng được những yêu cầu cao của bài toán dự báo điện năng. Sau đây chúng ta sẽ tiến hành phân tích, đánh giá một số phương pháp dự báo cơ bản nhất.

* Đoàn Văn Bình, Thạc sỹ quản trị kinh doanh, Phó viện trưởng Viện Khoa học năng lượng, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.1. Phương pháp ngoại suy

2.1.1. Nội dung phương pháp

Theo nghĩa rộng nhất thì ngoại suy dự báo là nghiên cứu lịch sử phát triển của đối tượng năng lượng và chuyển tính quy luật đã được phát hiện trong quá khứ và hiện tại sang tương lai bằng phương pháp xử lý chuỗi thời gian kinh tế.

Thực chất của phương pháp này là phân tích quá trình thay đổi và phát triển của các đối tượng tiêu thụ điện theo thời gian. Kết quả thu thập thông tin một cách liên tục về sự vận động của đối tượng tiêu thụ điện theo một đặc trưng nào đó (ngày, tháng, năm...) hình thành nên một chuỗi thời gian, có thể được mô tả một cách khái quát như sau:

t (thời điểm)	t_1	t_2	...	$t_i \dots$	t_n
y (giá trị tiêu thụ điện)	y_1	y_2	...	$y_i \dots$	y_n

Điều kiện chuỗi thời gian:

Khoảng cách giữa các thời điểm của chuỗi phải bằng nhau, nghĩa là phải đảm bảo tính liên tục nhằm phục vụ cho việc xử lý. Đơn vị đo giá trị chuỗi thời gian phải đồng nhất (Nguyễn Thống, 1999).

Theo ý nghĩa toán học thì phương pháp ngoại suy chính là việc phát hiện xu hướng vận động của đối tượng năng lượng, có khả năng tuân theo quy luật hàm số $f(t)$ nào để từ đó tiên liệu giá trị đối tượng năng lượng ở ngoài khoảng giá trị đã biết (y_1, y_n) được định dạng bởi hàm số:

$$y^{DB}_{t+1} = f(t+1) + \epsilon \quad (1)$$

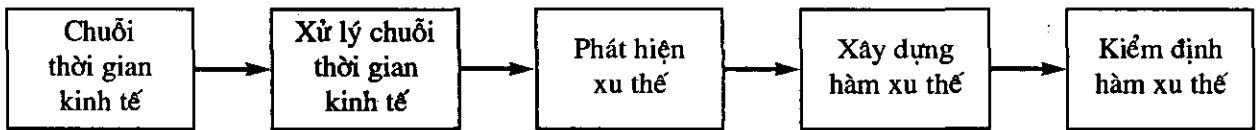
Trong đó: ϵ - thành phần phụ tải có xét đến nhiễu của các thông tin.

Điều kiện của phương pháp:

Để sử dụng được phương pháp này, các điều kiện sau phải được bảo đảm:

- Đối tượng năng lượng phát triển tương đối ổn định theo thời gian (có cơ sở thu thập thông tin lịch sử và phát hiện tính quy luật);
- Những nhân tố ảnh hưởng chung nhất đối với sự phát triển đối tượng năng lượng vẫn được duy trì trong khoảng thời gian nào đó trong tương lai; và
- Sẽ không có tác động mạnh từ bên ngoài dẫn tới những đột biến trong quá trình phát triển đối tượng năng lượng.

Quá trình dự báo theo phương pháp ngoại suy được thể hiện qua sơ đồ khối sau:



Nội dung cụ thể của từng bước như sau:

1) Xử lý chuỗi thời gian kinh tế:

- Nếu chuỗi thời gian kinh tế thiếu một giá trị nào đó thì cần phải bổ sung bằng cách lấy trung bình cộng 2 giá trị trước và sau nó.
- Xử lý dao động ngẫu nhiên: Đối với chuỗi có dao động lớn, do ảnh hưởng của các yếu tố ngẫu nhiên nên cần phải sử dụng

phương pháp san chuỗi thời gian để tạo ra chuỗi thời gian mới có xu hướng dao động ổn định hơn mà vẫn giữ nguyên xu thế từ chuỗi thời gian ban đầu; và

- Loại bỏ sai số thô.

2) Phát hiện hàm xu thế:

- Hàm xu thế thường có thể phát hiện bằng các phương pháp cơ bản sau:
- Bằng phương pháp đồ thị; và

- Bằng phương pháp phân tích số liệu quan sát.

3) Xây dựng hàm xu thế:

- Phương pháp điểm chọn;
- Phương pháp bình phương cực tiểu; và
- Phương pháp san bằng số mũ.

Một số mô hình hàm xu thế thường gặp nhất là mô hình (Trần Quang Khánh, 1995):

- Mô hình tuyến tính:

$$P_t = a + bt \tag{2}$$

- Mô hình Parabol:

$$P_t = a + bt + ct^2 \tag{3}$$

Các hệ số hồi quy a, b, c xác định theo điều kiện bình phương cực tiểu.

- Mô hình mũ:

$$P_t = P_0 (1+\alpha)^t \tag{4}$$

Trong đó:

P_0 - Phụ tải của năm cơ sở;

α - Suất gia tăng phụ tải hàng năm.

- Mô hình Logistic:

$$P_t = \frac{A}{P_0 + Be^{-\alpha t}} \tag{5}$$

Trong đó:

α - tỷ lệ gia tăng phụ tải trung bình hàng năm, xác định theo:

$$\alpha = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \alpha_i} \tag{6}$$

$$A = P_0 \cdot P_b ; B = P_b - P_0$$

P_0 - công suất của năm cơ sở;

P_b - công suất bão hoà.

- Mô hình đường cong chữ S:

$$P_t = \frac{n}{1 + m \cdot e^{-at}} \tag{7}$$

Với: m; n; a là các tham số của mô hình dự báo.

4) Kiểm định hàm xu thế:

Do trong bước phát hiện xu thế, hàm xu thế tạm kết luận mang tính khả năng, vì vậy cần có các tiêu thức để đánh giá nhằm lựa chọn hàm xu thế tối ưu (Nguyễn Thống, 1999).

- Kiểm định sai số tuyệt đối:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n-2}} \tag{8}$$

Trong đó:

y_i là giá trị thực tế của chuỗi thời gian;

\hat{y} : là giá trị lý thuyết hàm xu thế;

n: là mức độ của chuỗi.

Kiểm định sai số tương đối:

$$V_{y\%} = \frac{S_y}{y} 100 = \frac{S_y}{\frac{1}{n} \sum_i^n y_i} 100 \tag{9}$$

Giới hạn lựa chọn hàm xu thế tối ưu:

+ Nếu bước phát hiện xu thế chỉ xảy ra một khả năng $y = f(t)$ thì hàm $f(t)$ được sử dụng cho dự báo khi $V_y \leq 10\%$.

+ Nếu nhiều khả năng xảy ra thì chọn theo điều kiện:

$$\text{Min} (V_{y1}, V_{y2}...) \leq 10\%$$

- Kiểm định cập nhật hàm dự báo:

Kiểm tra kết quả dự báo và giá trị thực tế thu được khi vận động đến thời điểm dự báo. Sử dụng tiêu thức sai số tương đối thời điểm:

$$V_{y_{td}\%} = \frac{|y_{td}^{\wedge} - y_{td}|}{y_{td}} \leq 10\% \tag{10}$$

Trong đó:

y_{td} là giá trị thực tế tại thời điểm cập nhật;

y_{td}^{\wedge} là giá trị dự báo tại thời điểm cập nhật.

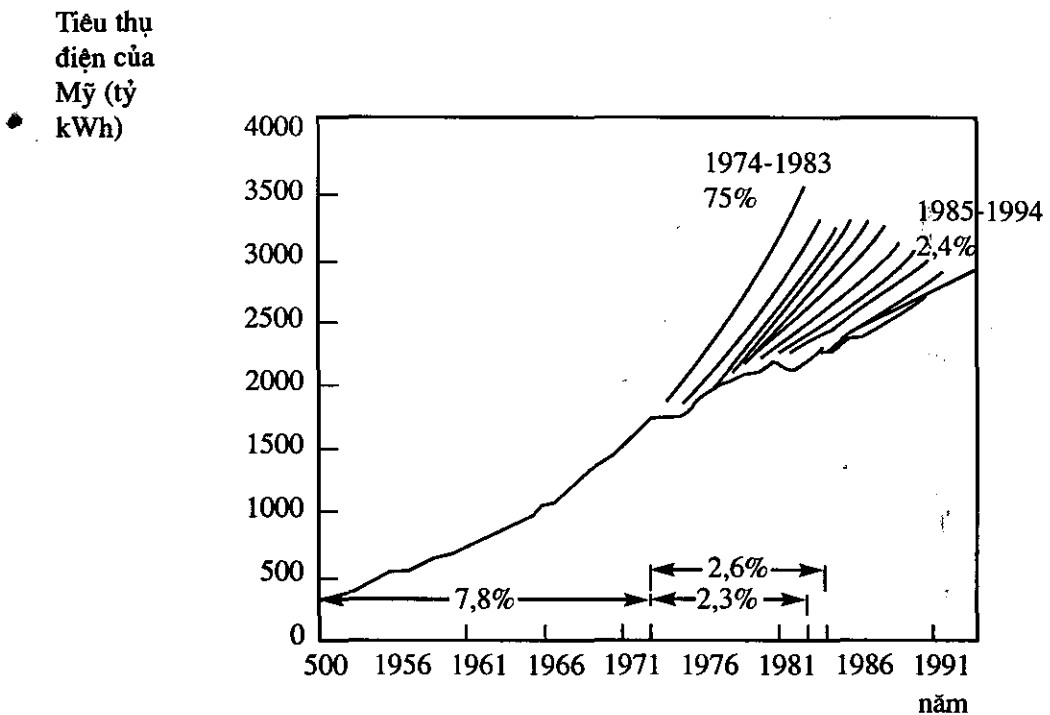
2.1.2. Đánh giá

Tại Bắc Mỹ, Hội đồng Kỹ thuật điện NERC (North American Electric Reliability Council), đã áp dụng phương pháp ngoại suy để dự báo nhu cầu tiêu thụ điện năng ở thời kỳ 1974 – 1983 (Robert G. Uhler, 1989), mức tăng là 7,5% năm. Trên thực tế, nhu cầu điện năng ở mức 2,3% năm. Phương pháp ngoại suy được NERC sử dụng dự báo phụ tải cho các khu vực Bắc Mỹ có sai số vượt quá 300%.

Trong suốt giai đoạn 1983 đến 1997, NERC đã phải hiệu chỉnh các kết quả dự báo

của mình tới 4 lần. Lần hiệu chỉnh đầu tiên, tốc độ tăng trưởng của dự báo nhu cầu năng lượng đã giảm xuống chỉ còn 2,4%/năm từ 1985 đến 1994. Tốc độ tăng trưởng lại tiếp tục được hiệu chỉnh xuống còn 2,3% từ 1986 đến 1995 trong lần hiệu chỉnh thứ 2. Sau đó lại tiếp tục được hiệu chỉnh giảm xuống còn 2,1% từ 1987 đến 1996 trong lần hiệu chỉnh thứ 3. Cuối cùng, tốc độ tăng trưởng được hiệu chỉnh xuống còn 2,0%/năm từ 1988 đến 1997. Kết quả dự báo nhu cầu phụ tải của NERC, giai đoạn 1974-1983 và giai đoạn 1975-1994) được thể hiện trên Hình 1.

Hình 1. Các kết quả dự báo nhu cầu phụ tải của NERC, 1974-1983 và 1975-1994



Nguyên nhân chính dẫn đến sai số dự báo là do sự biến động của một số nhân tố liên quan đến quá trình tiêu thụ điện. Giá điện là một biến quan trọng tác động đến nhu cầu phụ tải. Cuộc khủng hoảng năng lượng đầu tiên năm 1973 đã làm giá điện tăng 4,1% hàng năm cho giai đoạn dự báo 1974-1983. Giá điện tăng tạo ra các thay đổi về mô hình nhu cầu phụ tải cho giai đoạn dự báo.

Có giả thiết cho rằng sự thay đổi cấu trúc trong mô hình cũng có thể là nguyên nhân khác gây ra sai số dự báo. Tác giả Uhler đã tiến hành thử nghiệm với một sự thay đổi cấu trúc của mô hình để dự báo nhu cầu phụ tải cho giai đoạn 1974-1983 và đã nhận ra rằng sai số trong dự báo do sự thay đổi cấu trúc của mô hình là không đáng kể.

Ở Việt Nam, từ trước đến nay phương

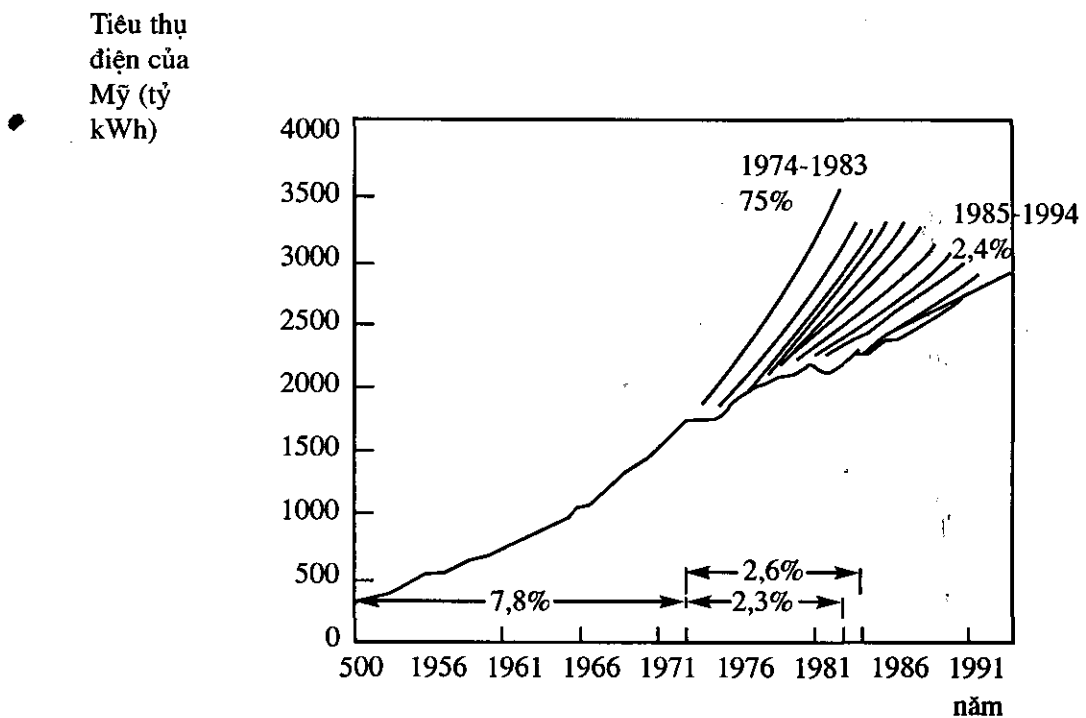
2.1.2. Đánh giá

Tại Bắc Mỹ, Hội đồng Kỹ thuật điện NERC (North American Electric Reliability Council), đã áp dụng phương pháp ngoại suy để dự báo nhu cầu tiêu thụ điện năng ở thời kỳ 1974 – 1983 (Robert G. Uhler, 1989), mức tăng là 7,5% năm. Trên thực tế, nhu cầu điện năng ở mức 2,3% năm. Phương pháp ngoại suy được NERC sử dụng dự báo phụ tải cho các khu vực Bắc Mỹ có sai số vượt quá 300%.

Trong suốt giai đoạn 1983 đến 1997, NERC đã phải hiệu chỉnh các kết quả dự báo

của mình tới 4 lần. Lần hiệu chỉnh đầu tiên, tốc độ tăng trưởng của dự báo nhu cầu năng lượng đã giảm xuống chỉ còn 2,4%/năm từ 1985 đến 1994. Tốc độ tăng trưởng lại tiếp tục được hiệu chỉnh xuống còn 2,3% từ 1986 đến 1995 trong lần hiệu chỉnh thứ 2. Sau đó lại tiếp tục được hiệu chỉnh giảm xuống còn 2,1% từ 1987 đến 1996 trong lần hiệu chỉnh thứ 3. Cuối cùng, tốc độ tăng trưởng được hiệu chỉnh xuống còn 2,0%/năm từ 1988 đến 1997. Kết quả dự báo nhu cầu phụ tải của NERC, giai đoạn 1974-1983 và giai đoạn 1975-1994) được thể hiện trên Hình 1.

Hình 1. Các kết quả dự báo nhu cầu phụ tải của NERC, 1974-1983 và 1975-1994



Nguyên nhân chính dẫn đến sai số dự báo là do sự biến động của một số nhân tố liên quan đến quá trình tiêu thụ điện. Giá điện là một biến quan trọng tác động đến nhu cầu phụ tải. Cuộc khủng hoảng năng lượng đầu tiên năm 1973 đã làm giá điện tăng 4,1% hàng năm cho giai đoạn dự báo 1974-1983. Giá điện tăng tạo ra các thay đổi về mô hình nhu cầu phụ tải cho giai đoạn dự báo.

Có giả thiết cho rằng sự thay đổi cấu trúc trong mô hình cũng có thể là nguyên nhân khác gây ra sai số dự báo. Tác giả Uhler đã tiến hành thử nghiệm với một sự thay đổi cấu trúc của mô hình để dự báo nhu cầu phụ tải cho giai đoạn 1974-1983 và đã nhận ra rằng sai số trong dự báo do sự thay đổi cấu trúc của mô hình là không đáng kể.

Ở Việt Nam, từ trước đến nay phương

pháp ngoại suy hầu như không được áp dụng do các điều kiện áp dụng phương pháp không được đảm bảo.

2.2. Phương pháp hồi quy tương quan

2.2.1. Phương pháp luận

Hồi quy đơn được dùng để xem xét mối liên hệ tuyến tính giữa hai biến X và Y, trong đó X được xem là biến độc lập (ảnh hưởng đến biến y), còn Y là biến phụ thuộc (chịu ảnh hưởng bởi biến X). Mục tiêu của phân tích hồi quy là xây dựng một mô hình toán học nhằm thể hiện một cách tốt nhất mối liên hệ giữa hai biến X và Y. Phân tích quy hồi xác định sự liên quan định lượng giữa hai biến ngẫu nhiên Y và X, kết quả của phân tích hồi quy được dùng cho dự báo, khác với phân tích tương quan khảo sát khuynh hướng và mức độ của sự liên quan, được dùng để đo lường tính bền vững của mối liên hệ tuyến tính giữa các biến đặc biệt là các biến định lượng.

Trên thực tế, nhu cầu điện không chỉ liên quan đến một yếu tố kinh tế mà nó liên quan đến nhiều yếu tố, như thu nhập quốc gia (NI – national income); dân số (POP – population); Tổng sản phẩm trong nước (GDP); chỉ số giá tiêu dùng (CPI)... Do đó, nên sử dụng phương pháp hồi quy tương quan bội (Nguyễn Thống, 1999) để giải quyết vấn đề này.

Gọi y là nhu cầu điện và gọi là biến phụ thuộc (biến cần giải thích). Gọi x_1, x_2, \dots, x_n là các hiện tượng kinh tế có liên quan (biến độc lập hay là biến giải thích). Quan hệ giữa nhu cầu điện Y với những hiện tượng kinh tế x_i khác có một số dạng chính sau:

Dạng tuyến tính:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \quad (11)$$

Dạng phi tuyến:

+ Dạng Cobb Douglas:

$$y = a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2}\dots x_k^{a_k} \quad (12)$$

+ Dạng mũ:

$$y = a_0 + a_1x_1^p + a_2x_2^k + \dots + a_kx_k^z \quad (13)$$

Để kiểm định mô hình tương quan người ta áp dụng nhiều tiêu chuẩn khác nhau, một trong số đó là hệ số xác định R^2 áp dụng trong phân tích hồi quy bội. Hệ số xác định R^2 chính là đại lượng thể hiện sự thích hợp của mô hình hồi quy bội đối với các dữ liệu. R^2 càng lớn thì mô hình hồi quy bội được xem là càng thích hợp và càng có ý nghĩa trong việc giải thích sự biến thiên của đại lượng y (Nguyễn Thống, 1999).

2.2.2. Đánh giá

Phương pháp hồi quy tương quan đã được sử dụng trong các nghiên cứu ở những nước khác nhau (Hisiao-Tien Pao, 2006) để nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố quyết định khác nhau đến tiêu thụ năng lượng nhằm đưa ra các mô hình dự báo thích hợp. Glasure và Lee (1997) giới thiệu mối quan hệ tương quan hai chiều giữa tiêu thụ năng lượng và GDP đối với Hàn Quốc và Xing-ga-po sử dụng các mô hình kết hợp hiệu chỉnh lỗi (ECM). Soytas và Sari (2003) kiểm tra quan hệ tương quan giữa GDP và tiêu thụ năng lượng trong 10 thị trường mới nổi lên và các nước công nghiệp phát triển (G-7). Yang (2000) đã xây dựng mô hình biểu diễn mối quan hệ nhân quả hai chiều giữa tiêu thụ năng lượng và GDP đối với Đài Loan. Rajan và Jain (1999) biểu diễn những mô hình tiêu thụ năng lượng đối với Delhi như là những hàm số của thời tiết và dân số. Egelioglu và các cộng sự (2001) nhận thấy rằng mô hình sử dụng số lượng khách hàng, số khách du lịch và giá năng lượng như là các biến hồi quy có khả năng dự báo rất tốt cho miền Bắc đảo Síp. Fatai và các cộng sự (2003) sử dụng ba cách tiếp cận kinh tế lượng để phân tích mô hình tiêu thụ điện của New Zealand. Họ nhận thấy rằng mô hình hồi quy có thể cho kết quả dự báo tốt nhất.

Các biến ảnh hưởng đến nhu cầu và tiêu thụ năng lượng có thể thay đổi từ vùng này đến vùng khác. Một mô hình phát triển cho một vùng này có thể không thích hợp cho vùng khác. Các mô hình cần phải được xây dựng thích hợp với các hoạt động đa dạng của các đối tượng tiêu thụ. Vì vậy, một mô

hình được phát triển trong những khu vực khác nhau cho hiệu quả khác nhau.

2.3. Phương pháp hệ số đàn hồi thu nhập

2.3.1. Nội dung phương pháp

Nhu cầu điện năng được dự báo theo phương pháp “mô phỏng kịch bản” hiện đang được áp dụng rộng rãi trong khu vực và trên thế giới. Phương pháp luận dự báo là: trên cơ sở phát triển kinh tế – xã hội trung – dài hạn, nhu cầu điện năng cũng như nhu cầu tiêu thụ các dạng năng lượng khác được mô phỏng theo quan hệ đàn hồi với tốc độ tăng trưởng kinh tế. Phương pháp này thích hợp với các dự báo trung và dài hạn. Hệ số đàn hồi thu nhập được xác định như sau (Swisher và các cộng sự, 1997).

$$\alpha_{Et} = \frac{\frac{\Delta A}{A}}{\frac{\Delta Y}{Y}} = \frac{\Delta A}{\Delta Y} \cdot \frac{Y}{A} \quad (14)$$

Trong đó:

α_{Et} - Hệ số đàn hồi thu nhập;

$\Delta A\%$ và $\Delta Y\%$ - Suất tăng tương đối điện năng và GDP;

A - Điện năng sử dụng;

Y - Giá trị GDP; và

ΔA và ΔY - Tăng trưởng trung bình điện năng và thu nhập trong giai đoạn xét.

Ngoài ra, các yếu tố quan trọng khác tác động đến nhu cầu điện được xét đến là:

- Hệ số đàn hồi giá điện: Khi giá điện tăng lên, một số hộ tiêu thụ sẽ có xu hướng chuyển sang sử dụng các nhiên liệu năng lượng khác hoặc ngược lại. Hệ số phản ánh sự thay đổi nhu cầu điện của một ngành hay khu vực nào đó khi giá điện thay đổi được gọi là hệ số đàn hồi giá.

Đối với Việt Nam, trong thời gian dài do giá được bao cấp và đến nay, một số lĩnh vực vẫn được trợ giá điện từ Nhà nước nên việc nghiên cứu quan hệ giá cả với thay đổi nhu

cầu điện trong quá khứ không thực hiện được. Việc áp dụng các hệ số đàn hồi giá điện được tham khảo từ một số nước đang phát triển ở khu vực Châu Á trong thập kỷ 80 và 90 của thế kỷ trước.

- Hệ số tiết kiệm năng lượng: tính tới việc áp dụng tiến bộ khoa học kỹ thuật, thực hiện tiết kiệm năng lượng, đặc biệt là triển khai các chương trình quản lý phía nhu cầu DSM.

Hàm số dự báo là hàm tổng hợp, dự báo nhu cầu điện năng toàn quốc được tổ hợp từ nhu cầu điện năng cho các ngành kinh tế, khu vực dân dụng và từ các vùng lãnh thổ.

Đàn hồi thu nhập và giá biểu thị nhu cầu năng lượng thay đổi do sự thay đổi giá năng lượng và thu nhập trong mô hình kinh tế lượng.

2.3.2. Phân tích đánh giá

Trong các Quy hoạch phát triển điện lực Việt Nam giai đoạn 1990–2000 (TSD4) và giai đoạn 2001–2010 có xét đến 2020 (TSD5) (Viện Năng lượng, 2002) đã sử dụng phương pháp đàn hồi để dự báo nhu cầu điện năng. Tháng 6 năm 2001, Thủ tướng Chính phủ đã ra quyết định phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực Việt Nam giai đoạn 2001–2010 có xét triển vọng đến năm 2020, trong đó dự báo nhu cầu tiêu thụ điện năng năm 2005 từ 35 đến 39 tỷ kWh với mức tăng trưởng bình quân 10–11%/năm. Nhịp độ tăng trưởng tiêu thụ điện năng cả giai đoạn 2001–2010 là 11–12%/năm tương ứng với các kịch bản tăng trưởng kinh tế (GDP) khoảng 7,2–8,0%/năm. Tuy nhiên, trong thực tế năm 2001 và năm 2002 mặc dù tăng trưởng kinh tế chỉ ở mức dưới 7%/năm nhưng tiêu thụ điện năng đã tăng 15,4% và 17,1% trong đó tiêu thụ của hai thành phần chủ yếu là công nghiệp – xây dựng tăng 14,4–21,3%, thành phần quản lý và tiêu dùng dân cư tăng 13,3 – 13,7% so với tăng trưởng bình quân dự báo của phương án phụ tải cao trong TSD5 tương ứng là 14,9 và 10,9% (Viện Năng lượng, 2007).

Bảng 1. Các kết quả dự báo so với thực tế trong TSD5

Năm	Điện thương phẩm (GWh)				Công suất cực đại (MW)			
	Thực tế	Dự báo của TSD5			Thực tế	Dự báo của TSD5		
		Phương án thấp	Phương án cơ sở	Phương án cao		Phương án thấp	Phương án cơ sở	Phương án cao
2000	22404		21394		4893		4477	
2001	26851	23651	23844	24068	5655	4902	4942	4988
2002	30234	26165	26597	27112	6552	5381	5470	5576
2003	34841	28978	29706	30593	7408	5920	6069	6250
2004	39596	32103	33192	34550	8283	6510	6731	7006

Nguồn: Thuyết minh Quy hoạch phát triển điện lực toàn quốc giai đoạn 2006–2015 có xét tới 2025, chương 2, trang II-1.

Bảng 2. Đánh giá sai số theo phương pháp thống kê

Chỉ tiêu*	Sai số tuyệt đối			Sai số tương đối		
	Phương án thấp	Phương án cơ sở	Phương án cao	Phương án thấp	Phương án cơ sở	Phương án cao
Trung bình	4126,88	3638,48	3041,68	14,63	12,68	10,43
Trung vị	4069	3637	3122	15,55	13,67	11,52
Cực đại	7493	6404	5046	23,34	19,29	14,60
Cực tiểu	1009,6	1009,6	1009,6	4,72	4,72	4,72
Độ lệch chuẩn	2635,304	2205,736	1672,803	7,659757	6,071109	4,250679
Độ nghiêng	0,090487	0,051835	-0,034531	-0,177927	-0,241117	-0,356839
Hệ số Kurtosis	1,591902	1,562571	1,509333	1,560429	1,542118	1,524417
Hệ số Jarque-Bera	0,419894	0,432698	0,463929	0,458124	0,491243	0,559725
Xác suất	0,810627	0,805454	0,792974	0,795297	0,782218	0,755888
Số quan sát	5	5	5	5	5	5

Nguồn: Thuyết minh Quy hoạch phát triển điện lực toàn quốc giai đoạn 2006 – 2015 có xét tới 2025, chương 2, trang II-2.

Ghi chú: * Chi tiết về phương pháp xác định các chỉ tiêu có thể tham khảo tại (Nguyễn Thống, 1999)

Thông thường các hệ số đàn hồi được xác định bằng các phân tích kinh tế lượng của các chuỗi dữ liệu theo thời gian trong quá khứ. Điều này rất khó thực hiện ở Việt Nam vì các chuỗi dữ liệu theo thời gian này không đủ và ngay cả khi có đủ thì một số sự phân bố sai lệch tác động đến nền kinh tế Việt

Nam sẽ làm mất tác dụng của cách tiếp cận này. Ngoài ra, Việt Nam còn là một trường hợp đặc biệt vì trước đó có sự hạn chế về sử dụng điện. Nhu cầu bị kiểm chế này ở Việt Nam là khá lớn, nó tác động làm cho giá trị trung bình của hệ số đàn hồi thu nhập tính toán trở lên kém tin cậy. Vì những lý do

trên, phương pháp này ứng dụng tại Việt Nam mang nặng tính chuyên gia hơn là các tính toán thông thường.

2.4. Phương pháp phân tích kinh tế - kỹ thuật

2.4.1 Phương pháp luận

Nhu cầu năng lượng cho mỗi hoạt động là sản phẩm của 2 yếu tố: mức độ hoạt động (dịch vụ năng lượng) và cường độ năng lượng (năng lượng sử dụng trên 1 đơn vị dịch vụ năng lượng). Hơn nữa, tổng nhu cầu năng lượng quốc gia hoặc từng thành phần bị tác động bởi sự thay đổi cấu trúc của nhu cầu năng lượng. Hầu hết những phân tích năng lượng từ dưới lên (bottom-up) hàm chứa sự pha trộn các dịch vụ năng lượng và các hoạt động (cấu trúc của nhu cầu năng lượng).

Mức độ của hoạt động năng lượng phụ thuộc vào các nhân tố như dân số, thu nhập và tổng sản phẩm quốc nội. Mức độ của cường độ năng lượng phụ thuộc vào hiệu quả sử dụng năng lượng bao gồm cả khía cạnh công nghệ và vận hành. Phép tổng các mức độ của 2 nhân tố của các hoạt động trên cho tổng nhu cầu năng lượng (Joel N. Swisher và các cộng sự, 1997):

$$E_{\text{use}} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot I_i \quad (15)$$

Với: Q_i : Số lượng dịch vụ năng lượng i

I_i : Cường độ năng lượng đối với dịch vụ năng lượng i

Cường độ năng lượng I_i có thể giảm do thay đổi công nghệ có hiệu suất năng lượng cao hơn, không tác động tới mức độ của dịch vụ năng lượng. Sử dụng năng lượng cũng có thể giảm bởi thay đổi tập quán sử dụng các thiết bị sử dụng năng lượng cuối cùng, vì vậy giảm sử dụng năng lượng hàng năm. Nếu sự giảm này đạt được do giảm sử dụng lãng phí hoặc không cần thiết (ví dụ thông qua hoàn

thiện công nghệ điều khiển) nó có thể được xem như cải thiện hiệu suất (giảm I_i). Tuy nhiên, nếu sự giảm xuất phát từ người tiêu dùng như giảm mức chiếu sáng, giảm nhiệt độ nước tắm sẽ được xem như giảm mức độ dịch vụ năng lượng (giảm Q_i).

Số lượng của các dịch vụ năng lượng Q_i phụ thuộc vào một số nhân tố bao gồm: dân số, tổng số các hộ tiêu thụ và phạm vi sử dụng của mỗi một dịch vụ.

$$Q_i = N_i \cdot P_i \cdot M_i \quad (16)$$

Ở đây: Q_i = số lượng dịch vụ năng lượng i ;

N_i = số khách hàng thích ứng với dịch vụ năng lượng i ;

P_i = Tổng các khách hàng của dịch vụ năng lượng i ; và

M_i = Phạm vi sử dụng của dịch vụ năng lượng i .

Tham số N_i có thể là hộ gia đình, toà nhà thương mại hoặc hộ công nghiệp. Yêu cầu chủ yếu để xác định là nó phù hợp với nhóm thuộc biến P .

Giá trị P_i là phần đóng góp của các khách hàng sử dụng dịch vụ năng lượng i .

Thông số M_i phụ thuộc vào phân tích kinh tế - kỹ thuật. Đối với phân tích kinh tế - kỹ thuật công nghiệp, dạng đơn giản của nó là tấn sản phẩm, đối với thương mại M_i biểu thị tổng dịch vụ và mức độ dịch vụ được cung cấp, ví dụ lumen (lux) trên m^2 được chiếu sáng, nó có thể được thay thế bởi số giờ được chiếu sáng hay số giờ có độ sáng lux đã cho.

2.4.2 Phân tích đánh giá

Các mô hình dự báo phân tích kinh tế - kỹ thuật của Bùi Huy Phùng và các cộng sự, 2005, Swisher và các cộng sự, 1997 chi tiết hơn nhiều so với mô hình kinh tế lượng, mặc dù công thức tính toán của chúng hoàn toàn đơn giản. Cách tiếp cận phân tích kinh tế - kỹ thuật đã chú ý xem xét cả về quy mô và cấu trúc công nghệ của dịch vụ năng lượng.

Trong *Bùi Huy Phùng và các cộng sự*, 2005 đã phân tích các mô hình sử dụng cách tiếp cận phân tích kinh tế - kỹ thuật đang được dùng khá phổ biến trên thế giới và đã du nhập vào nước ta như MEDEE-S, MAED, DDAS... chúng phục vụ chủ yếu cho các bài toán quy hoạch phát triển năng lượng. Các mô hình dự báo trên đều dựa trên cách tiếp cận theo kịch bản và dùng phương pháp mô phỏng. Nhu cầu năng lượng theo các dạng năng lượng được tính toán dự báo theo hai cách: từ dưới lên và từ trên xuống. Cách từ trên xuống, nhu cầu năng lượng thường được phân tích và dự báo ở tầm vĩ mô rồi sau đó được dự báo cho các hệ thống con của nền kinh tế. Cách từ dưới lên, hệ thống năng lượng được phân thành các hệ thống con và nhu cầu năng lượng được dự báo cho các hệ con rồi tổng hợp lên cho hệ thống toàn quốc.

Việc phân chia nhỏ này có ưu điểm:

- + Mô phỏng được gắn với thực tế hệ thống năng lượng;
- + Có khả năng sử dụng được các ý đồ kế hoạch, quy hoạch của từng ngành; và
- + Xác định được chi tiết hơn tiêu hao năng lượng của các công nghệ, quá trình sử dụng năng lượng và dự báo các công nghệ sẽ sử dụng.

Tuy nhiên, việc chia nhỏ lại có các nhược điểm:

- + Đòi hỏi nhiều số liệu các dạng khác nhau; và
- + Yêu cầu số liệu đảm bảo chi tiết, chính xác.

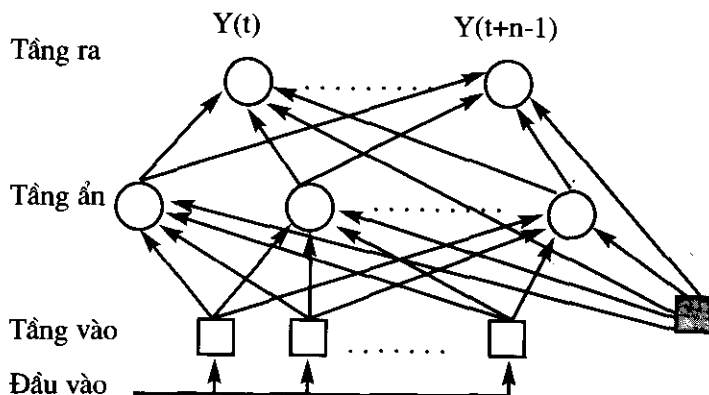
Nhược điểm này trở thành một khó khăn lớn trong điều kiện Việt Nam thiếu hệ thống số liệu thống kê, số liệu thiếu chính xác. Trong quá trình tính toán đang phải sử dụng nhiều số liệu đánh giá hoặc thống kê nhưng chưa đủ chính xác. Đây cũng là khó khăn chung đối với cả các phương pháp MEDEE-S, DDAS.

2.5. Phương pháp mạng neuron nhân tạo

2.5.1 Cơ sở phương pháp luận

Mạng neuron nhân tạo (Nguyễn Đình Thúc, 2000), (Nguyễn Diệu Thư, 2000), (Đàm Xuân Hiệp và các cộng sự, 2001), (Đoàn Văn Bình và các cộng sự, 2002) gồm có một lớp vào, một lớp ra và một hoặc nhiều lớp ở giữa xem như là các lớp ẩn. Mỗi lớp gồm có các neuron phức tạp được liên kết với các neuron trong lớp ẩn liền kề. Các trọng số liên kết và các hiệu chỉnh nút (nút hiệu chỉnh - bias) là các thông số của mô hình. Hình 2. là mô hình mạng neuron nhân tạo đa lớp chuyên thẳng phổ biến. Lớp vào có thể được miêu tả là véc tơ $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)'$, lớp giữa có thể được miêu tả bởi 1 véc tơ $M = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_m)'$ và Y là véc tơ đầu ra.

Hình 2. Mô hình mạng neuron nhân tạo đa lớp chuyên thẳng



Số lớp và số nơ ron trong mỗi lớp là tùy thuộc vào từng ứng dụng và được xác định bằng thực nghiệm (Nguyễn Đình Thúc, 2000), (Nguyễn Diệu Thư, 2000). Số nơ ron trên lớp ra bằng số biến của lời giải. Do đó, số trọng số trong một ứng dụng có thể lên đến hàng triệu nhưng cũng có thể chỉ vài chục.

Đối với bài toán dự báo nhu cầu điện, lớp vào (các biến x_i ; $i = 1, m$) là các nhân tố kinh tế ảnh hưởng nhất đến nhu cầu điện gồm thu nhập quốc gia (NI – national income); dân số (POP – population); Tổng sản phẩm trong nước (GDP); chỉ số giá tiêu dùng (CPI). Lớp đầu ra $Y(t)$ có 1 nút ra là biến tiêu thụ điện (ELEC – electricity consumption).

Để sử dụng mô hình mạng neuron nhân tạo cho dự báo, đầu tiên các nhà dự báo phải xây dựng mạng. Quá trình xây dựng mô hình được gọi là luyện mạng hay học mạng. Thông thường, trong các ứng dụng của mạng neuron nhân tạo, tổng các dữ liệu quan sát được chia thành dữ liệu học và dữ liệu kiểm tra. Dữ liệu học được sử dụng để xây dựng mô hình mạng và sau đó khả năng dự báo của mô hình được đánh giá bằng dữ liệu kiểm tra. Trong suốt quá trình luyện mạng, tổng trọng số của đầu vào được tính toán ở nút ẩn thứ t :

$$NET_t = \sum_{i=1}^m w_{ti}x_i + b_t; \quad (17)$$

$$t = 1, 2, \dots, h.$$

mỗi nút ẩn sau đó sử dụng 1 hàm chuyển đổi tín hiệu để phát ra đầu ra:

$$m_t = [1 + \exp(-NET_t)]^{-1} = f(NET_t); \quad (18)$$

$$t = 1, 2, \dots, h$$

giá trị của nó nằm trong khoảng 0 và 1. Đầu ra từ mỗi nút ẩn, cùng với nút vào điều khiển bias b_0 , sau đó được gửi tới nút ra và lần nữa tính tổng trọng số.

$$NET_0 = \sum_{i=1}^h v_t \cdot m_t + b_0 \quad (19)$$

Tổng trọng số trở thành đầu vào của hàm chuyển đổi tín hiệu của nút ra. Kết quả đầu ra thứ j sau đó được làm tròn để cung cấp giá trị đầu ra dự báo.

$$\hat{y}_j = f(NET_0) = [1 + \exp(-NET_0)]^{-1}; \quad (20)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

Tại điểm này, giai đoạn thứ hai của giải thuật lan truyền ngược sai số, sự điều chỉnh các trọng số kết nối bắt đầu. Các trọng số kết nối của mạng nơ ron có thể được xác định bởi tối thiểu hoá hàm mục tiêu của SSE trong quá trình luyện mạng:

$$SSE = \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2, \quad (21)$$

ở đây, n là số dữ liệu luyện mạng

Cho rằng mối liên hệ giữa Y và X là đơn điệu, sau đó tính toán độ nhạy S_i của đầu ra cho mỗi một đầu vào thứ i như là một đạo hàm khuyết của đầu ra cùng với trọng số đầu vào (Hsiao-Tien Pao, 2006).

$$\begin{aligned} S_i &= \delta \hat{y} / \delta X_i \\ &= \sum_{l=1}^h (\delta \hat{y} / \delta NET_l) * (\delta NET_l / \delta m_l) * \\ &\quad (\delta m_l / \delta NET_l) * (\delta NET_l / \delta X_i) \\ &= \sum_{l=1}^h [f'(NET_l) v_l f'(NET_l) w_{li}] \end{aligned} \quad (22)$$

Cho rằng $f'(NET_0)$ và $f'(NET_l)$ là hằng số và chúng ta bỏ qua chúng, độ nhạy tương đối là:

$$\hat{I} = \sum_{l=1}^h v_l \cdot w_{li}, \quad (23)$$

Biến vào cùng với giá trị tuyệt đối cao hơn của độ nhạy tương đối có ảnh hưởng lớn hơn đến biến ra. Quá trình lần lượt diễn ra như sau:

1. Luyện một mạng nơ ron đối với toàn bộ dữ liệu
2. Sử dụng bộ trọng số này, tính toán độ nhạy cho mỗi biến đầu vào.

Chi tiết hơn về học mạng neuron có thể xem trong Bishop CM (1995).

2.5.2 Đánh giá phương pháp và ứng dụng

Các kỹ thuật dự báo dùng mạng neuron sẽ làm tăng độ chính xác dự báo so với các kết quả đạt được qua phương pháp thống kê truyền thống (Nguyễn Diệu Thu, 2000), nó có một số ưu điểm hơn so với các phương pháp thống kê truyền thống là:

Mạng neuron kết hợp giải thuật học lan truyền ngược sai số với giả thuật di truyền (genetic algorithms-GAs) có khả năng dự báo đa biến, không bị hạn chế về số lượng như trong một số phương pháp truyền thống khác;

Có thể dự báo nhiều thời điểm trong tương lai;

Có khả năng áp dụng thời gian thực;

Không phải tính toán các biến trễ để xác định các biến vào cho dự báo. Không bị giới hạn khoảng dự báo và giả thời gian thực như trong các phương pháp thống kê mà có khả năng nhìn toàn cục, dự báo nhiều thời điểm trong tương lai; và

- Không mất nhiều công sức phân tích và tính toán các tham số đầu vào cho một mô hình hồi quy để dự báo.

Kết quả nghiên cứu (Đàm Xuân Hiệp và các cộng sự, 2001) còn cho thấy, phương pháp này có một điểm mạnh nữa là khả năng thử nghiệm để tìm ra giá trị dự báo xác đáng nhất. Trong khi ở các phương pháp truyền thống, các thông số và tham số đã được xác định và không thể thay đổi được, các kết quả dự báo cũng là duy nhất, thì ở phương pháp này ta có thể thử nghiệm nhiều lần, điều chỉnh cấu trúc mạng neuron, điều chỉnh các tham số học sao cho phù hợp để có được sai số như mong muốn.

Các nghiên cứu sử dụng mạng neuron nhân tạo trong dự báo nhu cầu điện đang ngày càng phát triển. Juntakan Taweekun (2007) đã công bố kết quả nghiên cứu dự báo nhu cầu phụ tải điện cho Thái Lan giai đoạn 2005 – 2020 sử dụng mô hình mạng neuron, trong đó các dữ liệu từ năm 1993 đến 1999 dùng để học mạng và các dữ liệu từ năm 2000 đến 2002 để kiểm tra. Hsu and Chen (2003) đã sử dụng mô hình Mạng nơ-ron để dự báo nhu cầu điện tại Đài Loan với GDP,

dân số và nhiệt độ tối đa của vùng là các yếu tố đầu vào để dự báo nhu cầu điện. Mô hình được thiết kế luyện mạng theo giải thuật lan truyền ngược. Mô hình dự báo nhu cầu năng lượng sử dụng mạng nơ-ron nhân tạo lan truyền thẳng 2 lớp đã được sử dụng để dự báo cho tỉnh Eastern của Saudi Arabia với các dữ liệu thời tiết, dân số và bức xạ toàn cầu. Dữ liệu thống kê trong 7 năm được sử dụng để học mạng (Javeed Nizami và Ahmed G. Al-Garni, 1995). Mạng neuron nhân tạo sử dụng kỹ thuật học máy đã được Abdel-Aal và các cộng sự (1997) đề xuất lựa chọn để dự báo nhu cầu năng lượng điện hàng tháng tại khu vực miền Tây của Saudi Arabia thay thế cho mô hình đa hồi quy thông thường (Abdel-Aal RE và các cộng sự, 2007).

Ở Việt Nam, có một số nghiên cứu bước đầu về xây dựng mô hình dự báo nhu cầu điện dựa trên kỹ thuật trí tuệ nhân tạo (Đàm Xuân Hiệp và các cộng sự, 2001), (Đoàn Văn Bình và các cộng sự, 2003), (Đoàn Văn Bình và các cộng sự, 2002). Kết quả nghiên cứu cho thấy, ứng dụng kỹ thuật trí tuệ nhân tạo xây dựng mô hình dự báo nhu cầu điện của Việt Nam sẽ đóng góp một mô hình tốt phục vụ cho bài toán lớn về quản lý, quy hoạch, lập kế hoạch phát triển ngành điện.

3. Kết luận

Qua phân tích, đánh giá các phương pháp dự báo nhu cầu phụ tải điện cho thấy mỗi phương pháp có những ưu, nhược điểm riêng. Tùy theo điều kiện cụ thể của từng vùng, các biến ảnh hưởng đến nhu cầu và tiêu thụ năng lượng có thể thay đổi từ vùng này đến vùng khác. Một mô hình phát triển cho một vùng này có thể không thích hợp cho vùng khác. Các mô hình cần phải được xây dựng thích hợp với các hoạt động đa dạng của các đối tượng tiêu thụ điện.

Ở Việt Nam, những năm qua đã sử dụng các mô hình từ 2.1 đến 2.4 để dự báo nhu cầu điện. Tuy vậy, sai số dự báo lớn (như trong Bảng 1 và Bảng 2) cho thấy, các mô hình đã được xây dựng chưa có khả năng tổng quát hoá cao.

Mô hình dự báo phụ tải điện dựa trên mạng nơ-ron nhân tạo có khả năng ánh xạ

một quan hệ phi tuyến bất kỳ giữa các biến độc lập (các nhân tố ảnh hưởng đến nhu cầu điện) với biến phụ thuộc (nhu cầu điện). Nó có thể cho kết quả dự báo với sai số tùy ý và có thể làm việc trực tiếp trên bộ dữ liệu quan sát mà không phải sử dụng các biến đại diện. Mô hình này đã được nhiều nước nghiên cứu, sử dụng. Tại Việt Nam cũng đã có những nghiên cứu bước đầu cho thấy mô hình có khả năng tổng quát hoá tốt và cần phải được nghiên cứu hoàn thiện để bổ sung công cụ dự báo nhằm tăng mức độ chính xác trong công tác dự báo nhu cầu điện, phục vụ nghiên cứu chính sách phát triển ngành năng lượng phù hợp với yêu cầu phát triển kinh tế đất nước, tránh những thiệt hại về kinh tế do thiếu (hoặc thừa) điện gây ra. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abdel-Aal RE, Al-Garni AZ, and Al-Nassar YN (2007), *Modeling and forecasting monthly electric energy consumption in Eastern Saudi Arabia using abductive network*, Energy 1997; 22: pp.911-921.
- Bùi Huy Phùng và các cộng sự (2005), *Báo cáo kết quả tính toán xây dựng phương án tổng thể khai thác và sử dụng hợp ý các nguồn năng lượng Việt Nam giai đoạn 2000 –2030*, Chương trình khoa học công nghệ trọng điểm cấp Bộ giai đoạn 2001–2005, Bộ Công nghiệp, Hà Nội.
- Bishop CM (1995), *Neural networks for pattern recognition*, Oxford University Press.
- Doan, V.B, T.M Dao, and D.T. Nguyen (2002), “Electric Power Demand Forecast Using the Neuron Network and Genetic Algorithm”, ECNEA-2002 Proceedings, 2002, pp. 387-390.
- Đàm Xuân Hiệp, Nguyễn Diệu Thư, và Đoàn Văn Bình (2001), “Phương pháp mạng neuron trong bài toán dự báo nhu cầu điện năng”, *Tuyển tập công trình khoa học: Hội nghị Khoa học lần thứ 19 trường Đại học Bách khoa Hà Nội*.
- Đoàn Văn Bình, Nguyễn Thanh Thủy, Đàm Xuân Hiệp (2003), “Giới thiệu các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo và ứng dụng trong hệ thống điện”, *Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học công nghệ điện lực Việt Nam –2003*, Nhà xuất bản Lao động – Xã hội.
- Egelioglu F, Mohamad AA, Guven H. Economic variables and electricity consumption in Northern Cyprus, Energy 2001; 26: pp.355-362.
- Fatai K, Oxley L, Scrimgeour FG. Modeling and forecasting the demand for electricity in New Zealand: a comparison of alternative approaches, Energy J 2003; 24(1): pp. 75-102.
- Glasura YU, Lee AR, *Cointegration, error-correction, and the relationship between DGP and electricity: the case of South Korea and Singapore*, Resource Electricity Econ 1997, 20: pp.17-25.
- Hsiao-Tien Pao (2006), *Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan’s electricity consumption*, Energy 31. pp. 2119-2141.
- Hsu, C.C. and C.Y. Chen, “Regional Load Forecasting in Taiwan–Applications of Artificial Neural Networks,” Energy Conversion and Management, Volume 44, 2003, pp.1941–1949.
- Joel N. Swisher, Gilberto de Martino Jannuzzi, and Robert Y.Redlinger (1997), “Tools and Methods for Integrated Resource Planning: Improving energy efficiency and Protecting the Environment”, Risir National Laboratory, Denmark.
- Juntakan Taweekun (2005), “Load forecasting in Thailand using neural networks”, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkla, Thailand, truy cập tại www.elsevier.com/locate/rser.
- Javeed Nizami, SSAK, and Al-Garni AG (1995), *Forecasting electric energy consumption using neural network*, Energy Policy 1995 pp1097-1104.
- Nguyễn Diệu Thư (2000), “Kỹ thuật khai phá dữ liệu”, Luận văn cao học, Khoa Công nghệ thông tin, trường Đại học Bách Khoa, Hà Nội.
- Nguyễn Thống (1999), *Phân tích dữ liệu và áp dụng vào dự báo*, Nhà xuất bản Thanh Niên, Hà Nội.
- Nguyễn Đình Thúc (2000), *Trí tuệ nhân tạo, mạng nơ ron, phương pháp và ứng dụng*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội.
- Ranjian M, Jain VK. Modeling of electrical energy consumption in Delhi, Energy 1999, 24: pp. 351-361.
- Robert G. Uhler (1989), “The NERC fan in retrospect and lessons for the future, (Northe American Electric Reliability Council), *The Energy Journal*; 4/1/1989.
- Soytaş U, Sari R, Energy consumption and GDP, *causality relationship in G-7 countries and emerging markets*, Energy Econ 2003; 25: pp. 33-37.
- Trần Quang Khánh (1995), “Dự báo phụ tải điện trong sinh hoạt”, Tạp chí *Điện lực* số 11/1995.
- The Institute of Energy Economics (2004), *Simple E. V2004*, Japan.
- *Tổng Công ty điện lực Việt Nam, Viện Năng lượng (2002), Tổng sơ đồ phát triển điện lực Việt Nam giai đoạn 2001 – 2010 có xét triển vọng đến năm 2020*, Hà Nội.
- *Tổng Công ty điện lực Việt Nam, Viện Năng lượng (2007), Quy hoạch phát triển điện lực Quốc gia giai đoạn 2006 – 2015 có xét triển vọng đến 2025*, Hà Nội.
- Yang HY, *A note on the causal relationship between electricity and GDP in Taiwan*, Energy Econ 2000; 23: pp. 309-317.