

ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT THỐNG KÊ TRONG PHÂN TÍCH SẢN LƯỢNG ĐIỆN BẤT THƯỜNG THỜI GIAN THỰC TỪ ĐO XA

APPLICATION OF STATISTICAL THEORY FOR ANALYZING REAL TIME ABNORMAL ELECTRICITY CONSUMPTION BEHAVIOR FROM AUTOMATIC METER READING

Huỳnh Thảo Nguyên*, Lê Hồng Cương, Võ Hòa

Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng¹

*Tác giả liên hệ: htnguyen2007@gmail.com

(Nhận bài: 09/9/2021; Chấp nhận đăng: 01/12/2021)

Tóm tắt - Nhóm tác giả đã nghiên cứu tìm ra thuật toán và xây dựng chương trình phần mềm phân tích cảnh báo sản lượng điện bất thường thời gian thực từ dữ liệu công tơ đo xa (AMR), kết hợp cơ sở lý thuyết thống kê tương quan và hồi quy tuyến tính, giúp phát hiện nhanh chạp từ 30 ngày xuống còn từ 2 đến 3 ngày, đồng thời rút ngắn phạm vi tìm kiếm từ 18% xuống chỉ còn 0,44% tổng số khách hàng sử dụng điện. Công trình đã góp phần hạn chế tình trạng kiến nghị hóa đơn tiền điện năng cao cũng như tránh xảy ra các tai nạn điện giật do chập chập điện; Chủ động cung cấp thông tin đến khách hàng tăng đột biến qua Email, Zalo, SMS,... góp phần mang lại sự hài lòng của khách hàng dùng điện; đồng thời hỗ trợ ngành Điện thực hiện nhiệm vụ chuyên đổi số trong công tác kinh doanh và dịch vụ khách hàng.

Từ khóa - Sản lượng điện bất thường; thời gian thực; chập chập điện; tương quan và hồi quy; đo xa

1. Đặt vấn đề

Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng đã và đang thực hiện nhiệm vụ đảm bảo cung cấp điện và quản lý hơn 326.000 khách hàng sử dụng điện trên địa bàn thành phố Đà Nẵng. Trong công tác dịch vụ khách hàng, Công ty đã tiếp nhận và giải quyết nhiều vụ kiến nghị tăng sản lượng đột biến bất thường, lý do trong số đó thì có trường hợp do khách hàng sử dụng nhiều thiết bị vào mùa nắng nóng; Đặc biệt qua thực tế thì có nhiều trường hợp chập chập, rò rỉ điện do dây điện lâu ngày bị bong tróc vỏ cách điện, dẫn đến điện tiêu thụ và tiền điện tăng rất cao và có nguy cơ bị tai nạn điện giật nếu không được xử lý kịp thời.

Trước khi có công trình này, việc phát hiện trường hợp chập chập thường sau khi kết thúc kỳ ghi điện hàng tháng, sau khi tiến hành phúc tra danh sách sản lượng tăng 30% với số lượng trung bình khoảng 60.000 khách hàng, tức trung bình khoảng 30 ngày mới tiến hành phúc tra 18% tổng số khách hàng, đây là khoảng thời gian quá dài và phạm vi tìm kiếm lớn tốn nhiều nhân lực đi kiểm tra thực tế để phát hiện chập chập. Lúc đó việc giải quyết kiến nghị khách hàng sẽ gặp nhiều khó khăn, khách hàng bức xúc cho rằng công tơ chạy không chính xác, hoặc khách hàng không có khả năng chi trả tiền điện do số tiền điện quá lớn, đặc biệt nguy cơ tai nạn điện giật hoặc cháy nổ do chập chập điện. Vì vậy mục tiêu cần đặt ra:

- Xây dựng thuật toán phát hiện nhanh các trường hợp sản lượng bất thường, đặc biệt là chập chập điện với số

Abstract - The authors researched and found an algorithm and built a software program to analyze real time abnormal electricity consumption behavior from Automatic Meter Reading (AMR) combining the theoretical basis of correlation statistics and linear regression, which helps to quickly detect electrical leakage from 30 days down to 2-3 days, at the same time shorten the search scope from 18% to only 0.44% of total electricity customers. The research has contributed to limiting the situation of petitioning for high electricity bills as well as avoiding electric shock accidents due to electrical leakage, proactively providing information to customers with spikes via Email, Zalo, SMS,..., contributing to the satisfaction of electricity customers; At the same time, supporting the Electricity sector in carrying out the task of digital transformation in business and customer service.

Key words - Abnormal electricity consumption; real time; electrical leakage; correlation and regression; Automatic Meter Reading (AMR)

ngày ít nhất có thể, thay vì chờ đến 30 hoặc 31 ngày khi ghi chỉ số để phát hành hóa đơn cho khách hàng.

- Cần thu hẹp khoanh vùng tìm kiếm tăng/ giảm đột biến, thay vì phải tìm kiếm đến 18% tổng số khách hàng; qua đó hỗ trợ kiểm tra thực tế có trọng điểm, tập trung, khả thi về nhân lực.

- Ngoài phát hiện chập chập tăng đột biến, cần phát hiện các trường hợp không sử dụng điện, giảm đột biến để hỗ trợ công tác phát hiện trộm cắp điện.

- Xây dựng chương trình phân tích sản lượng điện biến động bất thường thời gian thực để phân loại nhanh chóng số lượng lớn 326.000 khách hàng hàng ngày.

Trên thế giới [1], các nghiên cứu hiện tại về phát hiện hành vi tiêu thụ điện bất thường thường tuân theo quy trình “thu nhận đặc điểm - phát hiện bất thường”. Hành vi tiêu thụ điện của khách hàng được phân tích dựa trên dữ liệu biểu đồ phụ tải (load curves hay load profile), đánh giá qua các hệ số biến thiên, tải trung bình hàng ngày và thời gian từ điểm max đến điểm thấp nhất; Hoặc phương pháp sử dụng thuật toán học máy hoặc học sâu, mạng nơ-ron phức hợp. Các thuật toán học sâu là một chủ đề nghiên cứu phổ biến trong kỹ thuật phân tích hành vi tiêu thụ điện. Sau khi thu thập đặc điểm, các phương pháp phát hiện có thể được chia thành các phương pháp có giám sát và không được giám sát. Các phương pháp được giám sát bao gồm các bộ phân loại và mô hình mạng nơ ron khác nhau, các phương pháp không giám sát chủ yếu bao gồm nhiều thuật toán phân cụm. Tuy nhiên,

¹ Da Nang Power Company, Ltd. (Huynh Thao Nguyen, Le Hong Cuong, Vo Hoa)

rất khó phân biệt được hành vi tiêu thụ điện bất thường trong hầu hết các bộ dữ liệu. Hơn nữa, không có tiêu chuẩn nào để đánh giá liệu dữ liệu khách hàng có đại diện cho hành vi tiêu thụ điện bình thường hay bất thường.

Đối với Việt Nam, hiện nay chưa có nghiên cứu nào về hành vi tiêu thụ điện bất thường, việc đánh giá bất thường sản lượng điện được Tập đoàn Điện lực Việt Nam quy định trong quy trình phức tạp ghi chỉ số đối với hóa đơn tiền điện tăng trên 30% so với kỳ trước.

Bài báo này, nhóm tác giả sử dụng dữ liệu chỉ số công tơ tích lũy (lũy tiến), kết hợp phương pháp thống kê tương quan và hồi quy, hướng đi mới khác so với thế giới hiện nay là sử dụng dữ liệu biểu đồ phụ tải (load curves hay load profile). Dữ liệu chỉ số công tơ tích lũy và biểu đồ phụ tải đều được hệ thống đo xa thu thập tự động theo thời gian lưu vào cơ sở dữ liệu.

2. Nội dung nghiên cứu

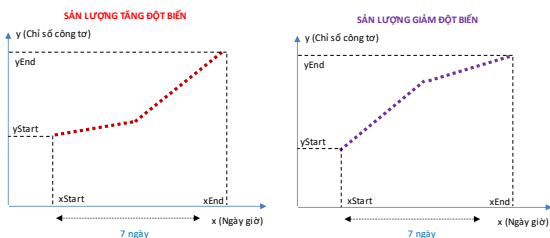
2.1. Chỉ số công tơ điện theo thời gian từ hệ thống đo xa

Công tơ điện tử có khả năng ghi lại chỉ số điện năng tác dụng tích lũy như Hình 1 (gọi tắt là chỉ số), được hệ thống đo xa thu thập định kỳ lưu vào cơ sở dữ liệu. Công ty Điện lực Đà Nẵng hiện nay đã lắp đặt 100% công tơ điện tử và 100% đo xa AMR với 2 hệ thống: Hệ thống đo xa RF-Spider chủ yếu được lắp tại các hộ sinh hoạt khu vực dân cư trạm biến áp công cộng với tần suất thu thập 4 lần/ngày; Hệ thống đo xa GPRS/3G sóng di động được lắp tại các công tơ tổng trạm biến áp công cộng, trạm biến áp chuyên dùng, các khách hàng có sản lượng điện từ 5000 kWh/ ngày trở lên, với tần suất thu thập 48 lần/ngày.

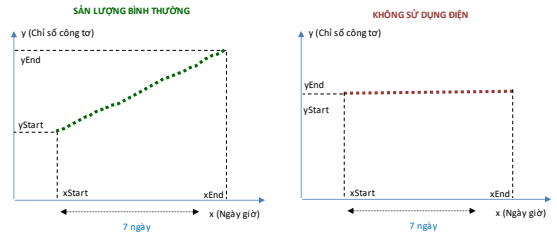


Hình 1. Chỉ số công tơ điện tử

Ở Hình 2, Hình 3 cho thấy, trường hợp khách hàng sử dụng điện bình thường, biểu đồ chỉ số công tơ sẽ có hình dáng là một đường thẳng $y = ax + b$. Nếu như có bất thường trong khoảng thời gian ngắn (7 ngày) như tăng đột biến, giảm đột biến thì biểu đồ chỉ số công tơ sẽ là đường gấp khúc. Vấn đề đặt ra là phương pháp nào để phân loại nhanh chóng với số lượng lớn khách hàng đến 326.000.



Hình 2. Đặc tính chỉ số theo thời gian trong trường hợp bất thường



Hình 3. Đặc tính chỉ số theo thời gian trong trường hợp bình thường

2.2. Thuật toán phân tích sản lượng điện bất thường

Dựa trên cơ sở áp dụng phương pháp phân tích thống kê, hồi quy tương quan tuyến tính [2], [3], [4], [5], dữ liệu đo xa, thuật toán phát hiện cảnh báo sản lượng điện bất thường được mô tả như sau:

Bước 1: Lấy số liệu chỉ số đo xa trong một chu kỳ 1 tuần 7 ngày (thời gian đủ cần thiết để phản ánh đặc tính sử dụng điện của khách hàng)

Ngày giờ (Biến x)	Chỉ số (Biến y)
27/12/19 9:20	20.721,9400
-----	-----
21/12/19 2:33	20.662,8800
20/12/19 21:30	20.660,9300

Bước 2: Tính hệ số tương quan và các hệ số hàm tuyến tính:

Số lượng mẫu thu thập được từ đo xa Spider trong 1 chu kỳ 7 ngày: n_s

Trung bình:

$$x_{Avg} = \bar{x} = \frac{1}{n_s} \sum x; y_{Avg} = \bar{y} = \frac{1}{n_s} \sum y; xy_{Avg} = \bar{xy} = \frac{1}{n_s} \sum x.y$$

Độ lệch chuẩn:

$$x_{StDev} = s_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n_s - 1}}; y_{StDev} = s_y = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n_s - 1}}$$

Hiệp phương sai của x và y:

$$s_{xy} = \frac{1}{n_s - 1} \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y}) = \frac{n_s}{n_s - 1} (\bar{xy} - \bar{x}.\bar{y})$$

Tương quan:

$$\text{Correl}^2(x, y) = r_{xy} = \left[\frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}} \right]^2$$

Hay: $\text{Correl}^2(x, y) = r_{xy} = \left[\frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y} \right]^2 = \left[\frac{n_s}{n_s - 1} \frac{\bar{xy} - \bar{x}.\bar{y}}{s_x \cdot s_y} \right]^2$

Hệ số hàm tuyến tính $y = ax + b$:

$$a = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} = \frac{n_s}{n_s - 1} \frac{\bar{xy} - \bar{x}.\bar{y}}{s_x^2}$$

$$b = \bar{y} - a.\bar{x}$$

Ý nghĩa hệ số $\text{Correl}^2(x, y)$: Phản ánh mức độ tương quan tuyến tính giữa 2 đại lượng x và y, càng gần 1 thì tương quan càng chặt, càng tuyến tính.

Ý nghĩa hệ số a: Phản ảnh sản lượng tiêu thụ trung bình ngày của khách hàng.

Bước 3: Tìm giá trị $y_{xAvg_Thucte} = y_{\bar{x}}$ tương ứng với giá trị $x \approx \bar{x}$ trong tập dữ liệu Spider.

So sánh $y_{xAvg_Thucte} = y_{\bar{x}}$

với $y_{xAvg_Hoiquy} = a.\bar{x} + b.$

Nếu $y_{\bar{x}} < a.\bar{x} + b$ thì tăng đột biến, ngược lại $y_{\bar{x}} > a.\bar{x} + b$ thì giảm đột biến.

Bước 4: Kết luận, đánh giá các trường hợp sản lượng điện bất thường và bình thường như Bảng 1.

Bảng 1. Tiêu chí phân loại các trường hợp sản lượng điện bất thường và bình thường

Điều kiện	Mô tả hình	Kết luận
$\begin{cases} 0 < \text{Correl}^2(x, y) < 0,9 \\ y_{\bar{x}} < a.\bar{x} + b \\ a \gg 0 \end{cases}$		<ul style="list-style-type: none"> - Sản lượng biến động tăng đột biến trong kỳ. - Giá trị $\text{Correl}^2(x, y)$ càng thấp càng ưu tiên theo dõi. - Nghi ngờ trộm cắp điện, hoặc khả năng chậm chạp.
$\begin{cases} 0 < \text{Correl}^2(x, y) < 0,9 \\ y_{\bar{x}} > a.\bar{x} + b \\ a \gg 0 \end{cases}$		<ul style="list-style-type: none"> - Sản lượng giảm đột biến trong kỳ. - Giá trị $\text{Correl}^2(x, y)$ càng thấp càng ưu tiên theo dõi, nghi ngờ trộm cắp điện.
$\begin{cases} \text{Correl}^2(x, y) > 0,9 \\ a \gg 0 \end{cases}$		<ul style="list-style-type: none"> - Sản lượng tiêu thụ bình thường, ổn định.
$\begin{cases} \text{Correl}^2(x, y) = 0 \\ \text{Correl}^2(x, y) = \text{DIV}/0 \\ a \approx 0 \end{cases}$		<ul style="list-style-type: none"> - Không sử dụng điện do sửa nhà, đi vắng thời gian dài. - Nghi ngờ trộm cắp điện.

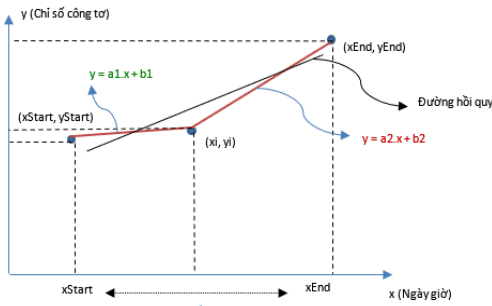
2.3. Chủ động cung cấp thông tin đến khách hàng

Thực hiện nhiệm vụ chuyển đổi số trong công tác Kinh doanh và dịch vụ khách hàng trong Tổng Công ty Điện lực Miền Trung “Tự động cung cấp thông tin sản lượng điện sử dụng cho khách hàng”, với mục tiêu kịp thời thông tin sản lượng bất thường, thể hiện sự quan tâm của ngành điện đến tình hình sử dụng điện của khách hàng, đặc biệt là hỗ trợ phát hiện khắc phục nhanh nhất các vụ chậm chạp điện.

Đối với khách hàng tăng đột biến, cần kịp thời thông

tin đến khách hàng qua các kênh Email, Zalo, SMS..., lúc này trên biểu đồ chỉ số theo thời gian, cần xác định thêm các thông số như ở Hình 4, gồm:

- Xác định (x_i, y_i) tại vị trí gấp khúc.
- Sản lượng trung bình ngày trong giai đoạn tăng bất thường: $a_2 = \frac{y_{End} - y_i}{x_{End} - x_i}$
- Sản lượng trung bình ngày trong giai đoạn bình thường trước đó: $a_1 = \frac{y_i - y_{Start}}{x_i - x_{Start}}$



Hình 4. Các thông số tính toán tăng đột biến

- Số ngày đột biến trong vòng 30 ngày ngoài chu kỳ tính toán: Từ ngày (d-30) đến (d-7) ngày xảy ra tăng/ giảm đột biến bao nhiêu ngày, số ngày đột biến càng lớn thì sản lượng tiêu thụ điện có tính quy luật. Thông số này giúp thu hẹp phạm vi tìm kiếm giảm xuống còn 50% so với trước.

Kết quả tính toán được lưu vào cơ sở dữ liệu để phục vụ thông tin đến khách hàng: “Từ ngày <xStart> đến ngày <xEnd>, quý khách hàng có sản lượng điện tiêu thụ trung bình ngày tăng từ <a1> kWh/ngày lên <a2> kWh/ ngày”.

3. Kết quả đạt được

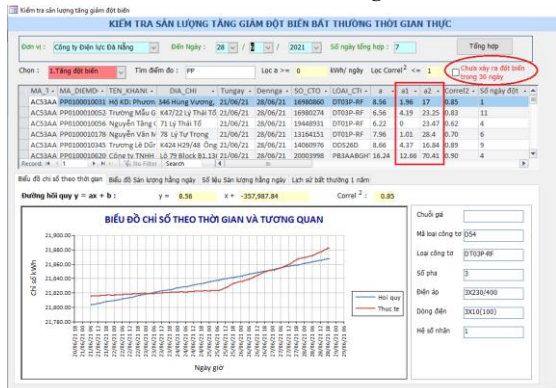
3.1. Kết quả nghiên cứu

3.1.1. Chương trình phần mềm

Phần mềm được xây dựng đã tính toán đưa ra được kết quả phân tích sản lượng điện của hơn 326.000 khách hàng, với dữ liệu tổng hợp hằng ngày hơn 9 triệu dòng dữ liệu bán ghi (mỗi khách hàng được thu thập đo xa 4 lần/ ngày, tổng hợp trong 7 ngày), thời gian tổng hợp trên máy tính trung bình khoảng 30 phút, cho kết quả nhanh chóng.



Hình 5. Giao diện chương trình

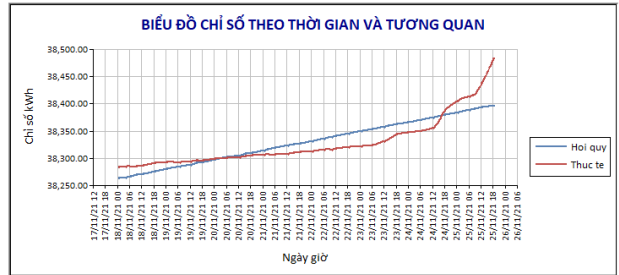


Hình 6. Kết quả từ chương trình

Một số kết quả điển hình:

* Sản lượng tăng đột biến: Khách hàng sử dụng điện từ 18/11/2021 đến 25/11/2021, hệ số a = 17,40 cho biết trung bình 1 ngày tiêu thụ 17,40 kWh/ ngày, mức độ đột biến $Correl^2 = 0,75 < 0,9$. Biểu đồ chỉ số theo thời gian và tương quan thể hiện sản lượng tiêu thụ của khách hàng này không ổn định (tăng giảm bất thường), khách hàng này cần được kiểm tra thực tế.

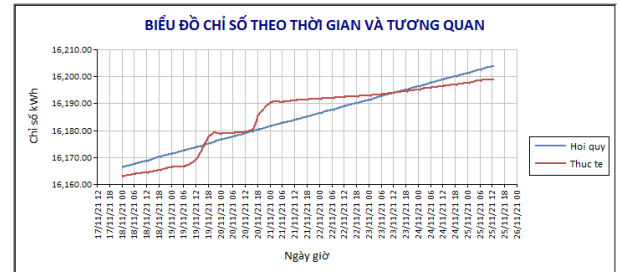
Đường hồi quy $y = ax + b$: $y = 17,40$ $x + -736,334,25$ $Correl^2 = 0,75$



Hình 7. Minh họa trường hợp sản lượng tăng đột biến

* Sản lượng giảm đột biến: Khách hàng sử dụng điện từ 18/11/2021 đến 25/11/2021, hệ số a = 5,01 cho biết trung bình 1 ngày tiêu thụ 5,01 kWh/ ngày, mức độ đột biến $Correl^2 = 0,88 < 0,9$. Biểu đồ chỉ số theo thời gian và tương quan thể hiện sản lượng tiêu thụ của khách hàng này có tiêu thụ điện không ổn định từ ngày 18/11/2021 đến ngày 20/11/2021, sau đó gần như không sử dụng điện đến 25/11/2021, khách hàng này cần theo dõi vài chu kỳ và kiểm tra thực tế.

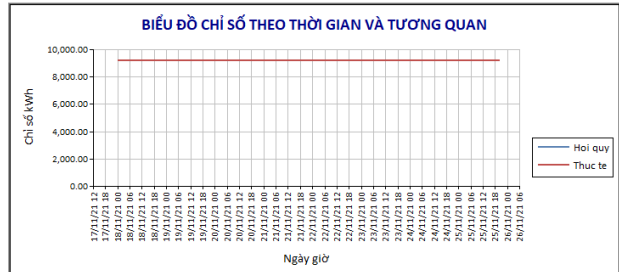
Đường hồi quy $y = ax + b$: $y = 5,01$ $x + -206,699,13$ $Correl^2 = 0,88$



Hình 8. Minh họa trường hợp sản lượng giảm đột biến

* Không sử dụng điện: Khách hàng sử dụng điện từ 18/11/2021 đến 25/11/2021, hệ số a = 0,00 cho biết trung bình 1 ngày tiêu thụ 0,00 kWh/ ngày, mức độ đột biến $Correl^2 = 0 < 0,9$. Biểu đồ chỉ số theo thời gian và tương quan thể hiện khách hàng này không tiêu thụ điện. Khách hàng này cần theo dõi, không loại trừ trộm cắp điện.

Đường hồi quy $y = ax + b$: $y = 0,00$ $x + 9,208,21$ $Correl^2 = 0,00$

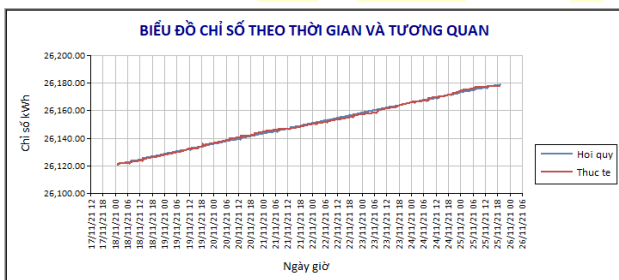


Hình 9. Minh họa trường hợp không sử dụng điện

* Sử dụng điện bình thường: Khách hàng sử dụng điện từ 18/11/2021 đến 25/11/2021, hệ số a = 7,47 cho biết

trung bình 1 ngày tiêu thụ 7,47 kWh/ ngày, tương quan $Correl^2 = 1 > 0,9$. Biểu đồ chỉ số theo thời gian và tương quan quan thể hiện sản lượng tiêu thụ của khách hàng này ổn định, chưa có bất thường.

Dường hồi quy $y = ax + b$: $y = 7,47x + -306,419,83$ $Correl^2$: 1,00



Hình 10. Minh họa trường hợp sản lượng bình thường

3.1.2. Kết quả tính toán

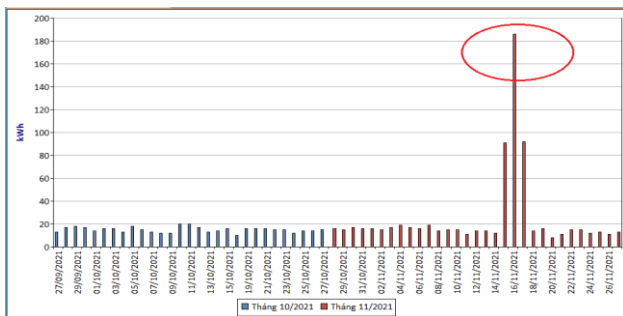
Kết quả Bảng 2 cho thấy, phương pháp phân tích sản lượng bất thường theo thời gian thực từ đo xa “Khoanh vùng tốt hơn” đối với nhóm tăng đột biến, nhóm giảm đột biến từ 18% xuống còn 0,44%, giúp giảm nhân lực kiểm tra đi thực tế. Riêng đối với nhóm không sử dụng điện, việc khoanh vùng được mở rộng hơn, đồng nghĩa việc theo dõi phát hiện các trường hợp nghi ngờ trộm cắp điện sẽ được nhiều hơn và hiệu quả trong công tác giảm tổn thất điện năng thương mại.

Bảng 2. Số liệu thống kê trước và sau khi có công trình

Phân loại	Áp dụng công trình Phân tích thời gian thực từ đo xa		Khi chưa có công trình	
	Số khách hàng	Tỷ lệ %	Số khách hàng	Tỷ lệ %
Tăng đột biến	915	0,28%	32.444	9,50%
Giảm đột biến	528	0,16%	29.380	8,60%
Bình thường	314.171	96,36%	261.800	80,30%
Không sử dụng	10.412	3,19%	2.402	0,70%
Tổng	326.026	100,00%	326.026	100,00%

3.2. Kết quả triển khai áp dụng thực tế

- Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng đã triển khai áp dụng công trình sáng kiến thành công với hơn 75 vụ chạm chập điện được phát hiện từ tháng 8/2020 đến tháng 8/2021, số ngày trung bình được phát hiện từ 2 đến 3 ngày như Hình 11. Nếu phát hiện trễ thì hóa đơn tiền điện tăng lên rất cao, khách hàng có thể không có khả năng chi trả.



Hình 11. Sản lượng ngày điển hình các vụ chạm chập điện

- Tháng 4/2021, nhóm tác giả công trình đã tập huấn hướng dẫn, chuyển giao phần mềm để triển khai nhân rộng trong 13 Công ty Điện lực thuộc Tổng Công ty Điện lực Miền Trung (EVNCPC). Cho đến tháng 8/2021, toàn EVNCPC đã phát hiện được gần 600 vụ chạm chập điện.

- Tháng 5/2021, nhóm tác giả công trình đã tập huấn hướng dẫn, chuyển giao thuật toán từ công trình cho Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), đến nay đã được tích hợp thống nhất vào chương trình Hệ thống thông tin quản lý khách hàng CMIS áp dụng trong toàn EVN.

- Một số bài báo điển hình đã đưa tin về ứng dụng công trình này như [6], [7].

4. Kết luận

Công trình đã được nghiên cứu từ lý thuyết đến thực nghiệm kiểm chứng qua thực tiễn, phân biệt được các trường hợp bất thường sản lượng điện qua các thông số thống kê, ứng dụng mang lại hiệu quả cho cả ngành điện và khách hàng:

- Đối với khách hàng dùng điện: Công trình giúp phát hiện kịp thời các trường hợp chạm chập điện trong vòng từ 2 đến 3 ngày, tránh phát sinh hóa đơn tiền điện tăng cao đột biến, đồng thời tránh được tai nạn điện giật. Ngoài ra, công trình cũng sẽ tác động đến ý thức sử dụng điện của một số khách hàng có hành vi trộm cắp điện qua các cảnh báo bất thường từ ngành Điện.

- Đối với ngành Điện: Công trình góp phần nâng cao sự hài lòng của khách hàng dùng điện khi chủ động cung cấp thông tin sử dụng điện bất thường qua Email, Zalo, SMS...; tăng năng suất lao động, tiết kiệm được chi phí nhân công kiểm tra thực tế nhờ khoanh vùng thu hẹp phạm vi tìm kiếm chỉ còn 0,44% tổng số khách hàng (ước tính tiết kiệm chi phí đối với Công ty Điện lực Đà Nẵng lên đến 106 tỷ đồng/năm); đồng thời góp phần giảm tổn thất điện năng, tăng doanh thu, tăng lợi nhuận.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Wei zhang, Xiaowei dong, Huaibao li, Jin xu, Dan wang, *Unsupervised Detection of Abnormal Electricity Consumption Behavior Based on Feature Engineering*, IEEE Access, 10.1109 / ACCESS.2020.2980079, 2020, số trang 55483 - 55500
- [2] Đặng Hùng Thắng, *Thống kê và ứng dụng*, NXB Giáo dục, 1999.
- [3] Tống Đình Quý, *Giáo trình xác suất và thống kê*, NXB Bách khoa-Hà Nội, 2007.
- [4] Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, Keying Ye, *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*, Prentice Hall, 2012.
- [5] Walter A. Rosenkrantz, *Probability and Statistics for Science, Engineering and Finance*, Department of Mathematics and Statistics, University of Massachusetts at Amherst, 2009.
- [6] Thành Long, *Ứng dụng cảnh báo chỉ số điện bất thường: Kịp thời hỗ trợ khách hàng mùa nắng nóng*, Báo Công Thương, <https://congthuong.vn/ung-dung-can-hao-chi-so-dien-bat-thuong-kip-thoi-ho-tro-khach-hang-mua-nang-nong-157473.html>, truy cập ngày 20/05/2021.
- [7] Tường Minh, *Điện lực miền Trung: Ứng dụng giúp khách hàng tránh sự "cháy túi"*, Báo Lao động, <https://laodong.vn/xa-hoi/dien-luc-mien-trung-ung-dung-giup-khach-hang-tranh-su-chay-tui-911985.ldo>, truy cập ngày 22/05/2021.