



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621

## ПРИМЕНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ И ИНТЕГРАЦИИ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ДЛЯ СРЕЗАНИЯ ПИКОВ НАГРУЗКИ

**Биткулов К.Р., Зализная Е.А., Зализный С.А., Умурзаков Д.Д.**

*ФГБОУ ВО "Национальный Исследовательский Университет" МЭИ", Москва, Россия (111250, Москва, Красноказарменная ул, д. 14, стр. 1), e-mail: madamliza2@yandex.ru*

В статье был представлен обзор литературы по стратегиям срезания пиков нагрузки. Детально рассматривались стратегии управления спросом и интеграция электротранспорта в электрическую сеть. Также в обзор были включены предположения о возможных вызовах и будущих исследований по направлению каждой из стратегий.

Ключевые слова: Срезание пиков, управление спросом, электромобили, энергетика.

## APPLICATION OF DEMAND MANAGEMENT STRATEGIES AND INTEGRATION OF ELECTRIC VEHICLES TO CUT OFF LOAD PEAKS

**Bitkulov K.R., Zalznaya E.A., Zalizny S.A., Umurzakov D.D.**

*National Research University MPEI, Moscow, Russia (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya street, 14, bldg. 1), e-mail: madamliza2@yandex.ru*

The article presented a review of the literature on strategies for cutting off load peaks. Demand management strategies and integration of electric transport into the electric grid were considered in detail. The review also included assumptions about possible challenges and future research in the direction of each of the strategies.

Keywords: Peak cutting, demand management, electric vehicles, energy.

### Введение

Электрическая нагрузка меняется в течение дня. Ключевой задачей электроэнергетических удовлетворение изменяющегося спроса, особенно в периоды пиковых нагрузок [1]. С каждым днем спрос на электроэнергию возрастает, что связано с увеличением числа пользователей электрической сети. Постоянный рост пиковой нагрузки ведет к увеличению цены на электроэнергию и повышению вероятности перебоев электроснабжения. Таким образом, баланс производства и потребления электроэнергии становится одной из важнейших задач [2,3]. Для удовлетворения максимальной нагрузки обычно используются пиковые электростанции небольшой мощности. Для этих целей в изолированных системах также часто используются дизельные генераторы [4]. Однако такие типы электроустановок характеризуются высокими затратами на эксплуатацию и обслуживание [5]. Поскольку пиковые электроустановки работают только вы часы максимальных нагрузок, для

удовлетворения пикового спроса могут использоваться и старые установки с низкой эффективностью. Хотя капитальные затраты на такие установки не велики, затраты на их эксплуатацию значительны. Для окупаемости использования таких электроустановок цена на электроэнергию в часы пиковых нагрузок возрастает. Таким образом срезание пиковой нагрузки становится актуальной темой для исследований. Срезание пиков – это способ выравнивания графика нагрузки путем переноса части потребления из областей пиков в области минимальных нагрузок [6]. В последнее время наблюдается рост числа исследований, посвящённых срезанию пиков. В настоящей статье рассматриваются две распространённые стратегии переноса пиков нагрузки:

- интеграция электротранспорта в электрическую сеть;
- управление спросом.

В этом исследовании представлен обзор различной литературы, освещающей срезание пиков. По две передоложенным категориям распределены различные подходы, предложенные предыдущими исследователями. Новизна этой работы состоит в рассмотрении проблем и перспективных направлениях дальнейших исследований, связанных с распределением нагрузки. Статья структурирована следующим образом:

- преимущества срезания пиков для поставщиков и потребителей электроэнергии;
- обзор методик управления спросом и связанных с этим проблем;
- обзор методов интеграции электротранспорта в электрическую сеть для срезания пиков.

### **Срезание пиков с использованием электротранспорта**

В наши дни электротранспорт еще недостаточно широко распространен. Однако ожидается, что со временем его популярность увеличится, что связано с мировым трендом на сокращения потребления ископаемого топлива. Обычно накопленная в электромобилях энергия не используется полностью, что позволяет этой технологии обладать потенциалом для срезания пиков. В [7] предложена эффективная стратегия использования энергии транспортных средств для срезания пиков. Для максимизации использования батарей был предложен метод использования динамической скорости разряда.

Управление электротранспортом в составе сети является непростой задачей. В [8] Представлена методика такого управления для снижения пиковой нагрузки. Группа авторов [9] предложила схему распределительной подстанции, позволяющей электротранспорту выступать в качестве источников энергии в периоды пикового спроса. С помощью ПО «MATLAB» была составлена и испытана модель такой подстанции. Результаты моделирования показали, что срезание пиков обеспечивалось в течении коротких промежутков времени.

Вызовы, связанные с использованием электротранспорта для срезания пиков:

- Основной проблемой является низкая доступность электротранспорта для их применения в стратегии, так как электромобили еще не получили широкого распространения;

- Нежелание владельцев транспортных средств передавать управление ими третьей стороне на фоне необходимости в большом числе электромобилей для реализации стратегией может стать еще одной проблемой;
- Синхронизировать процесс зарядки и разрядки большого количества электромобилей довольно сложно;
- В связи с низкой распространённостью электромобилей в настоящее время наблюдается не достаточное количество парковочных мест для реализации стратегии, а высокая плотность застройки городов может препятствовать сооружению новых парковочных мест.

Можно выделить следующие направления будущих исследований, связанных с этой стратегией:

- Наибольшие преимущества от использования электротранспорта для срезания пиков может наблюдаться в небольших изолированных сетях. Необходимо провести исследования для выявления максимального преимущества для такого подхода;
- Дополнительные исследования могут потребоваться для разработки алгоритмов, которые позволят синхронизировать процессы заряда и разряда большого числа электромобилей.

### **Срезание пиков с использованием стратегии управления спросом**

С точки зрения электроэнергетики, управление является программой, способной мотивировать потребителей балансировать их потребление с возможностями системы электроснабжения. Можно выделить две основные части управления спросом.

Энергоэффективность можно определить как способность предоставить лучшие услуги за счет меньших затрат энергии [10].

Управление спросом подразумевает изменение нагрузки потребителями за денежное вознаграждение в периоды высоких рыночных цен на электроэнергию или когда надежность системы находится под угрозой.

Часто управление спросом используется для срезания нагрузки. Ожидается, что управление спросом станет стандартной практикой при эксплуатации сетей [11]. Обзор различных программ управления спросом может быть найден в [12]. Некоторые из этих программ предоставляют большие возможности для урегулирования аварийных ситуаций в периоды пикового спроса [13]. Преимущества программ рассматриваются в [14]. В [15] приведен пример реализации одной из программ для срезания пиков.

В различных работах предлагаются разные методы управления спросом, позволяющие добиться максимальной эффективности при срезании пиков. В [16] срезание пиков достигается с использованием анализа скачков мощности. Коллектив авторов статьи [17] провел исследование методов управления спросом и разделил бытовую технику на контролируемую и неконтролируемую. С помощью беспроводной связи контролируемые приборы можно дистанционно отключать от сети. При этом эти приборы могут автоматически управляться на основе прогнозирования нагрузки. В [18] продемонстрировано снижение пиковой нагрузки с использованием метода time-of-use (TOU).

К вероятным вызовам, связанным с управлением спросом можно отнести следующие:

- Потребители могут быть не готовы переносить активную деятельность с пикового периода на непиковый;
- Реализация программ управления спросом может повлиять на уровень комфорта потребителей;
- Управление спросом предполагает наличие передовых систем учета и связи, доступ к которым есть не везде;
- За счет внедрения методов управления спросом будет увеличиваться сложность работы энергосистемы.

### **Направления дальнейших исследований**

Среди направлений будущих исследований по теме управления спросом можно выделить следующие:

- Применение системы управления энергопотреблением «умного дома» для управления спросом. Это уменьшит зависимость управления спросом от готовности потребителей на участие в программе;
- Преимущество СНЭ над программами управления спросом с точки зрения потребителей состоит в том, что применение систем накопления энергии позволяют им снижать пиковую нагрузку и при этом не менять распорядок использования электроприборов. По этой причине в будущих исследованиях следует затронуть тему комбинированной работы СНЭ и программ управления спросом.

### **Заключение**

В работе был произведен обзор различных стратегий срезания пиков нагрузки, предложенных предыдущими исследователями. В ходе обзора были выявлены три основные стратегии – управление спросом, применение СНЭ и интеграция электротранспорта в сеть. В статье освещались исследования и существующие проекты срезания пиков. Для каждой стратегии существуют уникальные вызовы, которые необходимо преодолеть, из-за чего они требуют дополнительных исследований. Однако в статье не рассматривался еще одна перспективная стратегия срезания пиков, заключающаяся в использовании комбинированной энергии возобновляемых источников.

### **Список литературы**

1. Mehta RM VK. Principles of Power System. 4th ed. New Delhi: S. Chand; 2005.
2. Rahimi A, Zarghami M, Vaziri M, Vadhva S. A simple and effective approach for peak load shaving using Battery Storage Systems. In: Proceedings of the North American Power Symposium, IEEE; 2013. p. 1-5.
3. Chua KH, Lim YS, Morris S. Energy storage system for peak shaving. Int J Energy Sect Manag 2016;10:3–18.
4. Palamar A, Pettai E, Beldjajev V. Control system for a diesel generator and ups based microgrid. Sci J Riga Tech Univ Power Electr Eng 2010;26:48–53.
5. Chua KH, Lim YS, Morris S. Battery energy storage system for peak shaving and voltage unbalance mitigation. Int J Smart Grid Clean Energy 2013;514:357–63.

6. Nourai A, Kogan V, Schafer CM. Load leveling reduces T & D line losses. *IEEE Trans Power Deliv* 2008;23:2168–73.
7. Alam MJE, Muttaqi KM, Sutanto D. A controllable local peak-shaving strategy for effective utilization of PEV battery capacity for distribution network support. *IEEE Trans Ind Appl* 2015;51:2030–7.
8. Wang Z, Wang S. Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems. *IEEE Trans Power Deliv* 2013;28:1822–9.
9. Mägi M. Utilization of electric vehicles connected to distribution substations for peak shaving of utility network loads. *Electr Control Commun Eng* 2013;2:47–54
10. AEIC Load Research Committee. Demand Response Measurement and Verification: Applications for Load Research. Association of Edison Illuminating Companies (AEIC); 2009.
11. Balijepalli VM, Pradhan V, Khaparde S, Shereef R. Review of demand response under smart grid paradigm In: Proceedings of the IEEE conference on innovative smart grid technologies-India, IEEE; 2011. p. 236-43.
12. Paterakis NG, Erdinç O, Catalão JP. An overview of demand response: key-elements and international experience. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;69:871–91.
13. Farsadi M, Dizaji TS, Hosseinejad H. Loss reduction benefit and voltage profile improvement by considering demand response and capacitor. *IU-J Electr Electron Eng* 2016;16:3007–15.
14. Chakrabarti B, Bullen D, Edwards C, Callaghan C. Demand response in the New Zealand electricity market. In: Proceedings of the transmission and distribution conference and exposition, IEEE; 2012. p. 1-7.
15. Cichy M, Beigelböck B, Eder K, Judex F. Demand response of large residential buildings-a case study from Seestadt Aspern. In: Proceedings of the 42nd annual conference of the IEEE industrial electronics society, 2016.IEEE, p. 3936–41.
16. Rozali NEM, Alwi SRW, Manan ZA, Klemeš JJ. Peak-off-peak load shifting for hybrid power systems based on Power pinch analysis. *Energy* 2015;90:128–36.
17. Tascikaraoglu A, Boynuegri A, Uzunoglu M. A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: a smart home system in Turkey. *Energy Build* 2014;80:309–20.
18. Ashok S. Peak-load management in steel plants. *Appl Energy* 2006;83:413–24. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. Глава 3.2, раздел 3. — М. : Ростехнадзор, 2010. — 411 с.

## References

1. Mehta RM VK. Principles of Power System. 4th ed. New Delhi: S. Chand; 2005.
2. Rahimi A, Zarghami M, Vaziri M, Vadhva S. A simple and effective approach for peak load shaving using Battery Storage Systems. In: Proceedings of the North American Power Symposium, IEEE; 2013. pp. 1-5.
3. Chua KH, Lim YS, Morris S. Energy storage system for peak shaving. *Int J Energy Sect Manag* 2016;10:3–18.
4. Palamar A, Pettai E, Beldjajev V. Control system for a diesel generator and ups based microgrid. *Sci J Riga Tech Univ Power Electr Eng* 2010;26:48–53.

5. Chua KH, Lim YS, Morris S. Battery energy storage system for peak shaving and voltage unbalance mitigation. *Int J Smart Grid Clean Energy* 2013;514:357–63.
  6. Nourai A, Kogan V, Schafer CM. Load leveling reduces T & D line losses. *IEEE Trans Power Deliv* 2008;23:2168–73.
  7. Alam MJE, Muttaqi KM, Sutanto D. A controllable local peak-shaving strategy for effective utilization of PEV battery capacity for distribution network support. *IEEE Trans Ind Appl* 2015;51:2030–7.
  8. Wang Z, Wang S. Grid power peak shaving and valley filling using vehicle-to-grid systems. *IEEE Trans Power Deliv* 2013;28:1822–9.
  9. Mägi M. Utilization of electric vehicles connected to distribution substations for peak shaving of utility network loads. *Electr Control Commun Eng* 2013;2:47–54
  10. AEIC Load Research Committee. Demand Response Measurement and Verification: Applications for Load Research. Association of Edison Illuminating Companies (AEIC); 2009.
  11. Balijepalli VM, Pradhan V, Khaparde S, Shereef R. Review of demand response under smart grid paradigm In: Proceedings of the IEEE conference on innovative smart grid technologies-India, IEEE; 2011. pp. 236-43.
  12. Paterakis NG, Erdiñç O, Catalão JP. An overview of demand response: key-elements and international experience. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;69:871–91.
  13. Farsadi M, Dizaji TS, Hosseinnejad H. Loss reduction benefit and voltage profile improvement by considering demand response and capacitor. *IU-J Electr Electron Eng* 2016;16:3007–15.
  14. Chakrabarti B, Bullen D, Edwards C, Callaghan C. Demand response in the New Zealand electricity market. In: Proceedings of the transmission and distribution conference and exposition, IEEE; 2012. pp. 1-7.
  15. Cichy M, Beigelböck B, Eder K, Judex F. Demand response of large residential buildings-a case study from Seestadt Aspern. In: Proceedings of the 42nd annual conference of the IEEE industrial electronics society, 2016.IEEE, pp. 3936–41.
  16. Rozali NEM, Alwi SRW, Manan ZA, Klemeš JJ. Peak-off-peak load shifting for hybrid power systems based on Power pinch analysis. *Energy* 2015;90:128–36.
  17. Tascikaraoglu A, Boynuegri A, Uzunoglu M. A demand side management strategy based on forecasting of residential renewable sources: a smart home system in Turkey. *Energy Build* 2014;80:309–20.
  18. Ashok S. Peak-load management in steel plants. *Appl Energy* 2006;83:413–24. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. Глава 3.2, раздел 3. — М.: Ростехнадзор, 2010. — p.411.
-