

## УДК 621.33

Вдовин Александр Сергеевич, магистрант (КузГТУ, Кемерово)  
Воронин Вячеслав Андреевич, старший преподаватель (КузГТУ, Кемерово)  
Vdovin Aleksandr Sergeevich, master student (KuzSTU, Kemerovo)  
Voronin Vyacheslav Andreevich, senior lecturer (KuzSTU, Kemerovo)

### ОБЗОР СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

### OVERVIEW OF MANAGEMENT METHODS FOR CHARGING INFRASTRUCTURE OF ELECTRIC VEHICLES

В данной статье рассматриваются различные методики для регулирования спроса на электрическую энергию на автозарядных станциях, в целях снижения пиковой нагрузки на энергетическую систему, уменьшения потерь в ней и снижения цены для конечного потребителя.

This article discusses various methods for regulating the demand for electric energy at auto-charging stations, in order to reduce the peak load on the energy system, reduce losses in it and reduce the price for the end user.

**Введение.** В последнее время на дорогах наблюдается активный рост числа электромобилей (ЭМ), особенно в активно развивающихся странах. Если в 2013 году доля рынка электромобилей в Европе составляла всего около 0,49 %, то по состоянию на 2021 год эта цифра увеличилась до весьма значимых 19 % и продолжает расти, и это только в Европе, не говоря о США, Китае и прочих. Кроме того, помимо электромобилей, разрабатываются и другие виды транспорта на электрической тяге (водный, воздушный, гибридный и т.д.). Главной причиной таких изменений является общемировая тенденция на снижение углеродных выбросов от сгораемого топлива с целью снижения влияния этих самых выбросов на экологическую и климатическую ситуации в мире. Кроме того, снизится зависимость от ископаемого топлива, что откроет новые экономические возможности [1].

Резкое увеличение количества электромобилей может вызвать проблемы, связанные с интеграцией этого транспорта в электрическую сеть. Эти проблемы заключаются в резком увеличении спроса на электрическую энергию, что может вызвать: отклонения частоты и напряжения сети; дисбаланс фазных нагрузок; увеличение пиковых нагрузок в часы максимума нагрузки; повышенные потери, ускоренный износ оборудования т.д. [2].

Чтобы решить озвученные выше проблемы и обеспечить электромобилям наиболее мягкую интеграцию в электрическую сеть, необходимо применение различных методик и стратегий зарядки электромобилей, суть которых сводится к оптимизации процесса зарядки

таким образом, чтобы зарядка электромобилей происходила в часы малых нагрузок.

**Стратегии управления зарядом электромобилей.** Традиционная энергетическая сеть столкнулась с проблемой управления постоянно растущими объемами потребления электроэнергии. С течением времени и развитием технологий существующие электросети трансформируются и адаптируются под новые условия работы. Результатом этих трансформаций стала саморегулируемая сеть под названием Smart Grid (SG). Сеть SG – это умная энергетическая сеть, оснащенная информационно-коммуникационными (ИКТ) средствами. Сеть SG способна изменять свои параметры в зависимости от текущих условий работы, спроса на электроэнергию, условий окружающей среды. Также, SG позволяет осуществлять двусторонний обмен мощностью между электромобилем и электрической сетью (V2G и G2V), что позволяет использовать подключенные к сети электромобили для регулирования частоты, сглаживания пиков нагрузки в часы максимума [3].

Различные атрибуты SG на разных уровнях электросети представлены на рис. 1. Все эти атрибуты относятся к технологии интеллектуальных сетей, которая обеспечивает эффективную и устойчивую работу энергосистемы, динамическое изменение цен на электроэнергию и дает возможность сетевым операторам наиболее тщательно контролировать свои генерирующие ресурсы и сетевые активы для оптимизации работы сети [3].

SG имеет комплексное средство зарядки, включающее в себя расширенную измерительную инфраструктуру, обеспечивающую двустороннюю связь между потребителем электроэнергии и агрегатором для планирования действий по зарядке/разрядке. Агрегатор является промежуточным звеном, которое управляет связью и распределением электроэнергии между группой потребителей (электромобилями) и другими потребителями. Как показано на рис. 2.



Рис. 1. Атрибуты технологии SG [3]



Рис. 2. Роль агрегатора в системе SG [3]

Информация, которую электромобили передают агрегатору, включает в себя:

- текущее местоположение электромобиля;
- текущий уровень заряда батареи;
- требуемый уровень заряда батареи;
- максимальную ёмкость батареи;
- необходимые временные рамки для достижения требуемого уровня заряда.

Агрегатор является дополнительным субъектом между ЖКХ и потребителями (пользователями ЭМ), который контролирует зарядку электромобилей с учетом интересов обеих сторон. Агрегатор, сетевой оператор и клиенты обмениваются информацией друг с другом для достижения ранее перечисленных целей (снижение нагрузки на сеть, повышение стабильности сети, регулирование цены на зарядку). Для этого используется протоколы связи, определенные обществом автомобильных инженеров, а именно j2836/1 и j2847/1. Также, используются различные способы связи, включающие в себя ZigBee, Wi-Fi, Power Line Carrier(PLC), цифровая абонентская линия, и сотовая сеть [3].

Также, для оптимизации работы сети и сглаживания пиковых нагрузок в часы максимума, имеет место применение специальных стратегий заряда электромобилей: стратегия прерывания (Interruption strategy), стратегия модуляции (Modulation strategy).

Стратегия модуляции заключается в модуляции мощности зарядки каждого отдельного автомобиля в различные временные периоды. Но

сейчас ее нельзя реализовать, т.к. отсутствует оборудование, дающее возможность изменять мощность зарядки в реальном времени в процессе ее работы. Предполагается, что данная методика будет использоваться в будущем [2].

Стратегия прерывания состоит в том, что зарядная станция подключена к распределительной сети через агрегатор. Предполагается, что при помощи сигнала агрегатора, полученного от оператора распределительной системы, можно включать или отключать и даже заранее планировать включение или отключение зарядки каждого отдельного автомобиля. Таким образом, можно распределять время зарядки между автомобилями таким образом, чтобы влияние зарядки на пиковую нагрузку энергосистемы было минимальным. Пример использования метода прерывания показан на рис. 3.

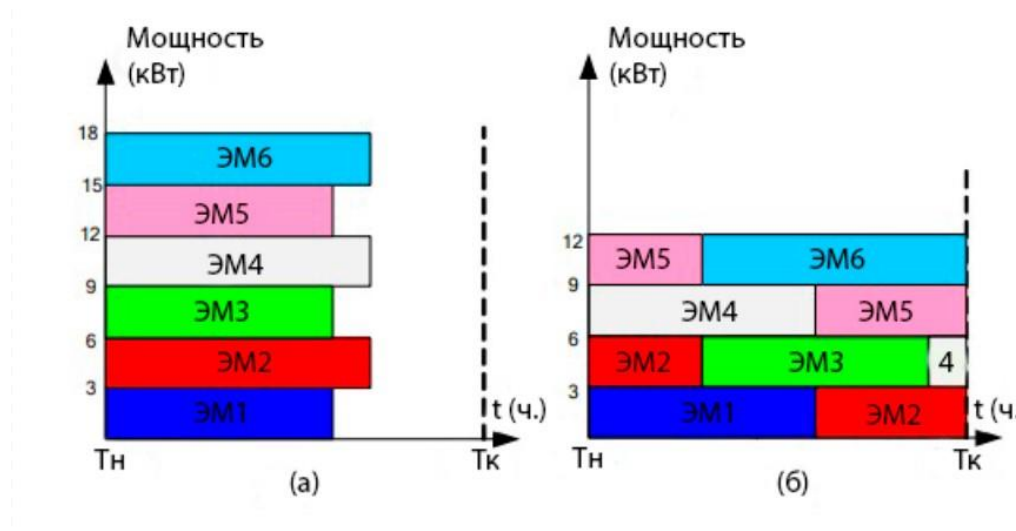


Рис. 3. Пиковая мощность электро-заправочной станции без использования метода прерывания (а), и с использованием (б) [2]

На рис. 3 (а) показан процесс зарядки шести электромобилей без использования метода прерывания. В таком случае пиковая мощность электро-заправочной станции составит 18 кВт, а автомобили будут заряжены раньше установленного ( $T_k$ ) срока. А на рис. 3(б). показан тот же процесс, но с использованием метода прерывания. На рисунке (б) видно, что периоды зарядки автомобилей разбиты на части таким образом, что время зарядки используется полностью (с  $T_n$  до  $T_k$ ), а пиковая нагрузки электро-заправочной станции снизилась с 18 кВт до 12 кВт, а если учесть, что не все автомобили будут приезжать на зарядку полностью разряженными, полученный результат по снижению пиковой нагрузки будет еще лучше [2].

**Динамическое ценообразование.** Динамическое ценообразование является многообещающим подходом к решению проблем, связанных с ростом числа электромобилей. Суть динамического ценообразование

закключаецца в том, что цена, которую платят пользователи электромобилей за электроэнергию может динамически изменяться в зависимости от условий работы энергосистемы (часы больших и малых нагрузок, время года и т.д.), тем самым мотивируя пользователя финансовой выгодой заряжать свой автомобиль не тогда, когда ему хочется, а в определенное, “удобное” для энергосистемы время (часы минимума нагрузки) [4]. Такой подход позволяет достичь ранее упомянутых целей.

К основным схемам ценообразования относят: ценообразование в реальном времени (Real Time Pricing – RTP); время использования (Time of Use – TOU); ценообразование по пиковой нагрузке (Critical Peak Pricing – CPP); скидки в пиковые часы (Peak Time Rebates – PTR). Рассмотрим упомянутые схемы динамического ценообразования более подробно [3].

Ценообразование в реальном времени (RTP): Данная схема динамического ценообразования выглядит более многообещающе в сравнении с остальными. Она заключается в постоянном мониторинге условий работы энергосистемы и ежечасном изменении цены на услуги зарядки. Изменение цен в таких небольших временных промежутках не очень удобно для клиентов, однако это выгодно для коммунальных служб.

Время использования (ToU): Суть данной схемы динамического ценообразования заключается в том, что цена на зарядку устанавливается по трем временным зонам. В часы малых нагрузок на энергосистему цена низкая, в период средних нагрузок цена умеренная, а в период больших нагрузок цена соответственно наибольшая. Границы временных зон устанавливаются коммунальными службами на основе статистики, собранной за большой временной период.

Ценообразование по пиковой нагрузке (CPP): Данная схема ценообразования похожа на предыдущую, но основана на прогнозировании периодов высокого спроса. CPP изменяет цену исходя из текущих условий, а не полагается на собранную статистику. Суть в том, что дни делятся на две категории: критичные и не критичные. В критичные цена рассчитывается, отталкиваясь от нагрузки, а в не критичные цена умеренная.

Скидки в пиковые часы (PTR): В этой схеме ценообразования клиентам предоставляют финансовое вознаграждение за возможность использования электроэнергии, накопленной в их автомобиле, в часы пиковых нагрузок. А во все остальное время цена на зарядку фиксированная.

Перечисленные выше схемы динамического ценообразования показаны на рис. 4.

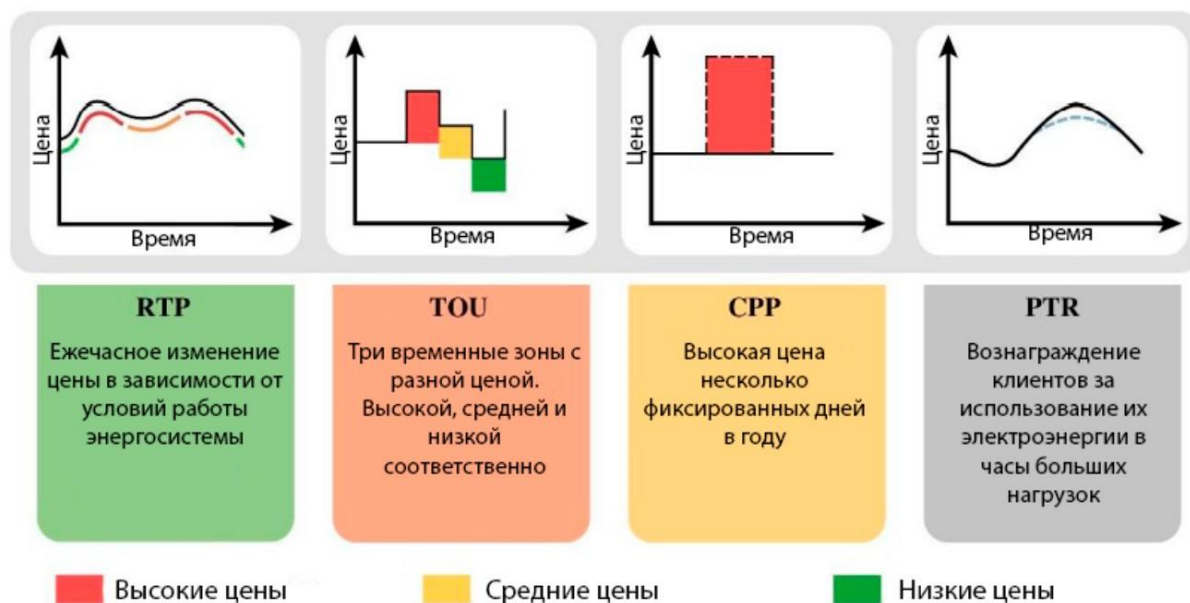


Рис. 4. Схемы динамического ценообразования [3]

Недостатком большинства из представленных схем динамического ценообразования является то, что для их реализации требуется чтобы пользователь подстраивал время зарядки своего автомобиля определенным образом, что не всегда возможно даже с учетом мотивации пользователя финансовой выгодой. По сравнению с фиксированной ценовой политикой, динамическое ценообразование является более привлекательным и экономичным выбором для клиентов [3].

**Заключение.** Исходя из всего перечисленного выше, можно сделать вывод, что существует множество стратегий и подходов к зарядке электромобилей, каждый из которых обладает как плюсами, так и минусами. Выбор той или иной стратегии зарядки зависит от большого числа факторов, среди которых: тип электромобиля; уровень развития зарядной инфраструктуры в регионе; суточный график нагрузки; требования пользователей к зарядке и т.д. При этом, эти факторы могут сильно отличаться в зависимости от региона, а поэтому, невозможно определить наилучшую стратегию зарядки электромобилей. Каждый случай требуется прорабатывать индивидуально и выбирать ту стратегию, которая наиболее выгодна для данного конкретного случая [5].

Очевидно, что электромобили будут развиваться и дальше, что вероятно, сделает их доминирующим типом транспорта на рынке. Поэтому, необходимо развивать соответствующую инфраструктуру, чтобы интеграция автомобилей проходила наиболее мягко.

### Список литературы

1. Leijon J. Charging Electric Vehicles Today and in the Future / J. Leijon, C. Boström // World Electric Vehicle Journal. – 2022. – Vol. 13. – № 8. – P. 139.
2. Charging strategies to minimize the peak load for an electric vehicle fleet / N. Van Linh [и др.] journalAbbreviation: Proceedings, IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial
3. A Review of Optimal Charging Strategy for Electric Vehicles under Dynamic Pricing Schemes in the Distribution Charging Network / A. Amin [et al.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – № 23. – P. 10160.
4. Limmer S. Dynamic Pricing for Electric Vehicle Charging—A Literature Review / S. Limmer // Energies. – 2019. – Vol. 12. – № 18. – P. 3574.
5. Assessment of charging technologies, infrastructure and charging station recommendation schemes of electric vehicles: A review / G.F. Savari [et al.] // Ain Shams Engineering Journal. – 2022. – P. 101938.