

УДК 629.331

**ЭЛЕКТРОМОБИЛИ: ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ  
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ***Ю.М. Павлова, О.Н. Торгованова, А.В. Павлов**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*© Павлова Ю.М., Торгованова О.Н.,  
Павлов А.В., 2023

**Аннотация.** В статье рассмотрены текущие тенденции и проблемы развития «умных электромобилей» на основе новых электрических и подключаемых гибридных электромобилей. Отмечено, что нынешняя электрическая сеть не способна выдержать повышение спроса на электроэнергию, необходимую для большого количества зарядных станций, особенно во время пиковых нагрузок. Кроме того, указано, что предполагаемая критическая инфраструктура для таких транспортных средств должна включать возможность обмена информацией, касающейся доступности энергии, расстояний, уровня загруженности и т.д. Изучены темы, связанные с контролем, реагированием на запросы, обеспечением инфраструктуры и коммуникационной инфраструктурой, требующейся для реализации вышеуказанных функций.

**Ключевые слова:** электромобиль, подключаемый гибридный электромобиль, умная сеть, Smart Grid, зарядная станция, быстрая зарядка, электрическая сеть, энергосистема, интеллектуальная сеть.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2023-3-63-74**

Разработка «умной сети» [1] дает возможность улучшить систему подключения, автоматизации и координации между поставщиками электроэнергии, потребителями и соответствующими транспортными и распределительными сетями с целью повышения эффективности использования электроэнергии. Традиционная парадигма электросетевого хозяйства быстро меняется в связи с более децентрализованным производством электроэнергии даже на уровне малых предприятий и жилых единиц, которые становятся способными покрывать часть своих энергетических потребностей. Кроме того, происходит переход к более энергозависимым источникам энергии, таким как ветер и солнечная энергия, что, в свою очередь, создает новые проблемы для управления потоками энергии в режиме реального времени, технологий учета и координации между различными задействованными агентами.

Что касается спроса, то автоконцерны активно продвигают электромобили (ЭМ) и подключаемые гибридные электромобили (ПГЭМ), чтобы снизить зависимость от ископаемого топлива вместе с выбросами. Однако, как показывают исследования [2], популярность ЭМ/ПГЭМ приведет к ограничению способности энергосистемы выдерживать пиковые нагрузки.

Считается, что внедрение распределенных и энергозависимых режимов выработки электроэнергии и наличие ЭМ требуют совершенствования коммуникационных технологий. В случае ЭМ и ПГЭМ уже принимаются меры по разработке технологий

обмена информацией и зарядом батарей «транспортное средство – транспортное средство» и «транспортное средство – инфраструктура», чтобы они могли взаимодействовать между собой и с существующей энергетической инфраструктурой для эффективного использования имеющейся мощности.

Реализация вышеуказанных концепций приведет к так называемому сценарию «транспортное средство – сеть», т.е. к системе, в которой электромобили взаимодействуют с энергосистемой для продажи услуг на спрос путем подачи электроэнергии в сеть либо путем регулирования скорости их зарядки. Общая концепция заключается в том, чтобы позволить транспортным средствам стать основными участниками сценария «умной сети», помочь им сбалансировать нагрузки, «заполняя провалы» (заряжаясь ночью, когда спрос низкий) и «сокращая пик» (отправляя энергию обратно в сеть, когда спрос высокий) [3]. Это могло бы дать энергосбытовым организациям новые способы предоставления услуг регулирования (путем поддержания стабильности напряжения и частоты) и создания резервных мощностей (путем удовлетворения внезапных потребностей в электроэнергии).

Указанный подход даст возможность наиболее эффективно эксплуатировать периодически используемые возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра. Будут применяться транспортные средства, способные накапливать избыточную энергию, вырабатываемую в ветреные периоды, и возвращать ее в сеть в периоды высокой нагрузки. Этот сценарий предлагает несколько сложных и интересных открытых задач алгоритмизации, пересекающихся в областях управления энергопотреблением и коммуникацией. Рассмотрим некоторые из этих вопросов и задач, а также роль зарядных станций и их емкости для хранения данных в удовлетворении возросших потребностей владельцев электромобилей в электроэнергии.

Быстрое реагирование на спрос позволяет генерирующим предприятиям и нагрузкам взаимодействовать автоматизированным образом в режиме реального времени, координируя спрос для сглаживания скачков напряжения. Основная цель заключается в том, чтобы избежать использования резервных генераторов путем сокращения доли спроса, вызывающего такие всплески, и дать возможность пользователям уменьшить свои расходы электроэнергии за счет ее использования в нерабочее время, когда тарифы на зарядку низкие. В настоящее время системы электросетей имеют разную степень связи с системами управления, включая генераторные установки, линии электропередач, подстанции и основных потребителей энергии. Как правило, информация передается в одном направлении – от пользователей и нагрузки обратно к коммунальным службам. Общий объем потребления электроэнергии пользователями может иметь очень широкое распределение вероятности, что требует наличия резервных генерирующих мощностей в режиме ожидания для реагирования на быстро меняющееся энергопотребление. «Этот односторонний поток информации обходится дорого; последние 10 % генерирующих мощностей могут потребоваться всего в 1 % случаев, а отключения электроэнергии могут дорого обойтись потребителям» [4]. Модель «транспортное средство – сеть» подходит для этой области, позволяя транспортным средствам стать активными участниками процесса на арене интеллектуальных сетей. С одной стороны, электрические или гибридные транспортные средства можно рассматривать как «движущиеся батареи», которые сеть может использовать при необходимости. Этот момент согласуется с наблюдением о том, что 90–95 % времени транспортные средства находятся на стоянке [5]. С другой стороны, для обеспечения эффективного проникновения ЭМ/ПГЭМ на рынок потребуются сменные зарядные станции, чтобы определить экологически чистое альтернативное решение.

Интегрированные и эффективные коммуникационные технологии необходимы для поддержки процессов более точного управления и сбора информации, лежащих в основе концепции интеллектуальной сети. Ключевая технология в этой структуре представлена связью по линиям электропередач (PLC – Power Line Communication), которая позволит использовать систему распределения энергии в качестве сигнальной инфраструктуры. Волоконно-оптические кабели также можно применять в качестве надежной высокоскоростной среды для связи в интеллектуальных сетях.

Тем не менее в случае ЭМ/ПГЭМ беспроводная связь необходима. Требуются дальнейшие исследования в данном направлении для решения связанных с интеллектуальными сетями проблем, таких как проблемы безопасности и надежности. Кроме того, беспроводная связь позволит стационарной инфраструктуре информировать клиентов или сами транспортные средства о колебаниях цен, чтобы контролировать модель реагирования на спрос и поддерживать стабильность запроса на электроэнергию с течением времени.

Ценообразование является ключевой регулируемой переменной, поскольку политика эффективного использования энергии может быть разработана на основе ценовых стимулов. В ряде стран пользование коммунальными услугами привело к установке во многих домах счетчиков электроэнергии с двойным тарифом, чтобы побудить людей потреблять электроэнергию в ночное время или в выходные дни, когда общий спрос со стороны крупных потребителей энергии (например, в промышленности) очень низок. В непиковое время спотовая цена значительно снижается по мере уменьшения спроса, что дает возможность использовать энергию для запаса в аккумулирующих радиаторах, а также для бытового потребления. В рамках «умной» сети вышеупомянутая идея может быть дополнительно изучена и детализирована в более точном временном масштабе, что приведет к изменениям цен в короткие сроки на основе оценки общего спроса в режиме реального времени. Личные предпочтения клиентов (например, использование только экологически чистой энергии) могут быть включены в эту новую парадигму энергосистемы.

Существуют две различные архитектуры подзарядки в дневное время: системы быстрой подзарядки и станции замены аккумуляторов, которые быстро заменяют разряженный аккумулятор полностью заряженным. Владельцы ПГЭМ/ЭМ могут счесть станции для замены аккумуляторов более привлекательными, поскольку общий процесс переключения занимает всего несколько минут. С другой стороны, первоначальные инвестиции в станции переключения аккумуляторов намного выше инвестиций в станции быстрой зарядки. Процесс переключения требует продвинутых автоматических роботов, для станций требуется больше пространства, а затраты на строительство в 2–3 раза выше, чем у станций быстрой зарядки [6]. Еще одним недостатком коммутационных станций является то, что они требуют совместимости и одинаковой производительности для всех аккумуляторов. Тем не менее данные станции представляют собой новую бизнес-модель, в которой клиенты могут платить за замененные батареи, а также оплачивать капитальные расходы на батарею на поэтапной основе.

В таблице показана типичная продолжительность зарядки электромобиля при использовании быстрой зарядки постоянным током.

Приблизительная скорость зарядки  
на станции быстрой зарядки постоянным током [7]

Мощность зарядки, кВт	Время для зарядки 80 % емкости, мин		
	Компактный электромобиль	Внедорожник/седан	Грузовик/большегруз
50	15	22	46
75	11	15	32
100	8	12	22
125	6,5	9	19
150	5	8	26

Быстрая и надежная связь между транспортными средствами и зарядными/коммуникационными станциями будет важна для того, чтобы водители могли найти ближайшую доступную станцию. С точки зрения оператора зарядной станции, жизненно важно иметь возможность прогнозировать и контролировать потребление энергии. С другой стороны, уже внедренные технологии, соответствующие стандартам (например, 4G и GPS), можно легко адаптировать. Тем не менее существует необходимость в разработке новых сетевых и коммуникационных стратегий в сочетании с ценообразованием и архитектурой интеллектуальных сетей, которые обеспечат быструю и надежную работу этой большой и сложной «киберфизической» системы.

Рассмотрим архитектуру станции быстрой зарядки электромобиля, целью которой является снижение непредсказуемости спроса на электроэнергию и в то же время предоставление владельцам транспортных средств качества обслуживания определенного уровня за счет использования локальной системы накопления энергии. Оценка производительности предлагаемой архитектуры зарядной станции проводится с учетом характеристик трафика, стохастического спроса на электроэнергию, размера локального хранилища энергии, параметров ценообразования и затрат.

Архитектура зарядной станции представлена на рис. 1. Основная идея заключается в том, что спрос на электроэнергию, исходящий от электромобилей, может быть покрыт либо за счет постоянной мощности, поставляемой коммунальным предприятием, либо за счет локального накопителя энергии. Избыточная мощность из сети используется для зарядки местного накопителя энергии, который, в свою очередь, используется для поддержания временных высоких нагрузок на зарядную станцию. Компонент локального хранения энергии в этой архитектуре играет важную роль в удовлетворении спроса клиентов.

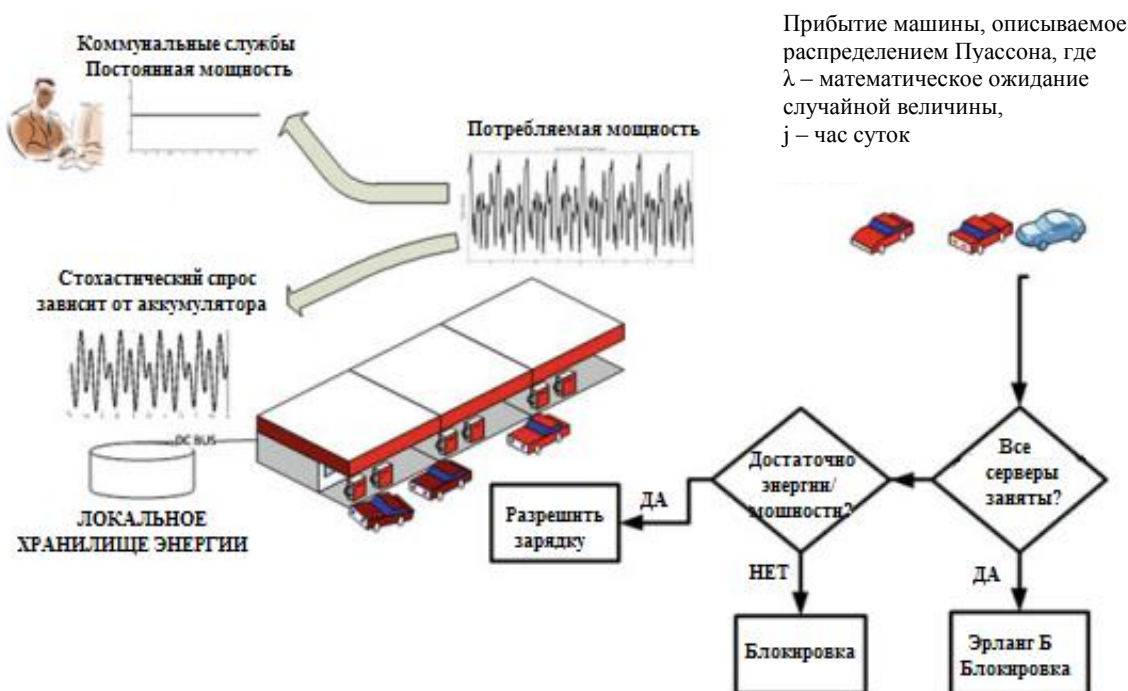


Рис. 1. Предлагаемая архитектура

Рассмотрим зарядную станцию как систему массового обслуживания  $M = M = 1$  [8]. Цель состоит в том, чтобы избежать перегрузки электросети, контролируя скорость прибытия транспортных средств посредством передачи информации о доступной мощности. Вероятность прибытия транспортных средств на зарядную станцию описывается распределением Пуассона. Станция может одновременно принимать до  $S$  автомобилей, обеспеченных электропитанием. Кроме того, станция оборудована накопительным блоком, который при полном заряде может вместить еще  $R$  транспортных средств. Количество времени для зарядки транспортного средства имеет экспоненциальное распределение скорости, при этом зарядка накопителя от сети также имеет данное распределение скорости. Наконец, предполагается, что транспортное средство заряжается от сети до тех пор, пока количество транспортных средств не превышает  $S$ , а дополнительные транспортные средства заряжаются от блока хранения электроэнергии; в противном случае они заблокированы [9].

Динамика указанной системы описывается непрерывной цепью Маркова в конечном двумерном пространстве состояний, одно измерение которого соответствует количеству транспортных средств, которые могут быть заряжены станцией, а второе – уровню заряда накопителя. «Переходы» представлены на рис. 2.

Отметим, что множество состояний  $(S + j, j)$ ,  $0 \leq j \leq R$  представляет собой блокирующие состояния, когда зарядная станция отклоняет въезд новых транспортных средств. Легко увидеть, что при заданной структуре цепь Маркова ориентирована и положительно рекуррентна, а поэтому эргодична. Его уникальное стационарное распределение может быть рассчитано путем решения уравнения  $\pi \times Q = 0$  с учетом ограничения  $\pi \times e = 1$ , где  $e$  обозначает вектор, состоящий из единиц, и с использованием стандартных численных методов [10].

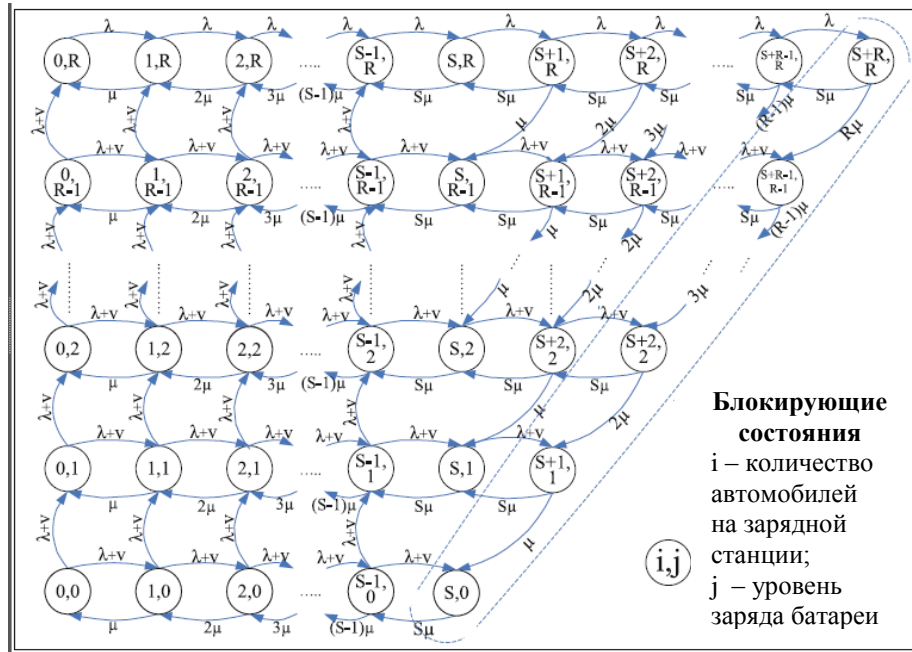


Рис. 2. Цепь Маркова с непрерывным временем

Рассмотрим некоторые рабочие характеристики предлагаемой системы; более подробная оценка приведена в источнике [11]. На рис. 3 вероятность блокировки как функция скорости поступления автомобилей при  $S = 6$  и при измененном значении  $R$  показана для системы  $\mu = \nu = 1$ . Видно, что чем больше  $R$ , тем меньше вероятность блокировки, как и ожидалось, но различия для  $R \geq 6$  имеют тенденцию быть довольно небольшими (рис. 4).

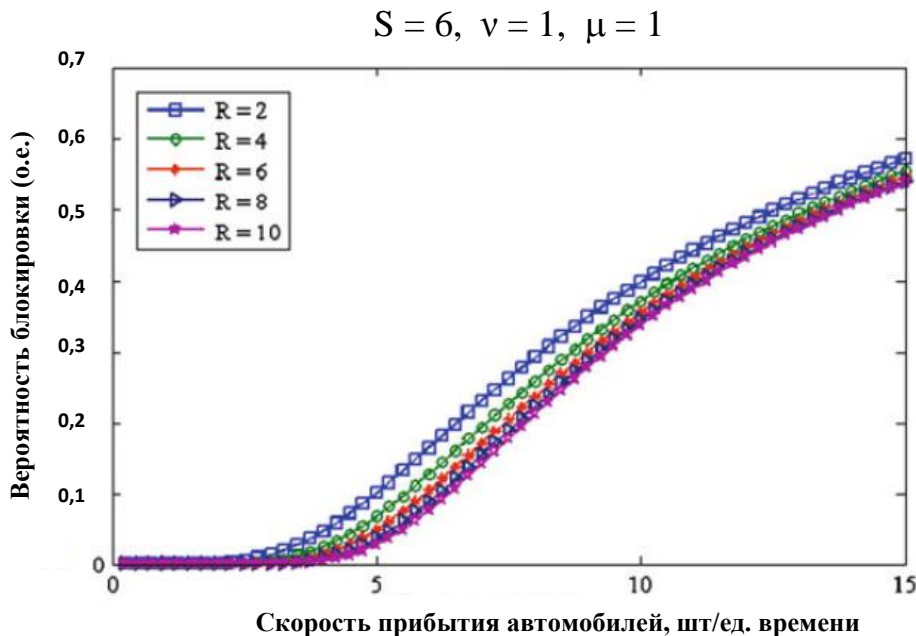


Рис. 3. Скорость поступления и вероятность блокировки  $S = 6$ ,  $R = 1-9$ 

$$\nu = 1, \mu = 1$$

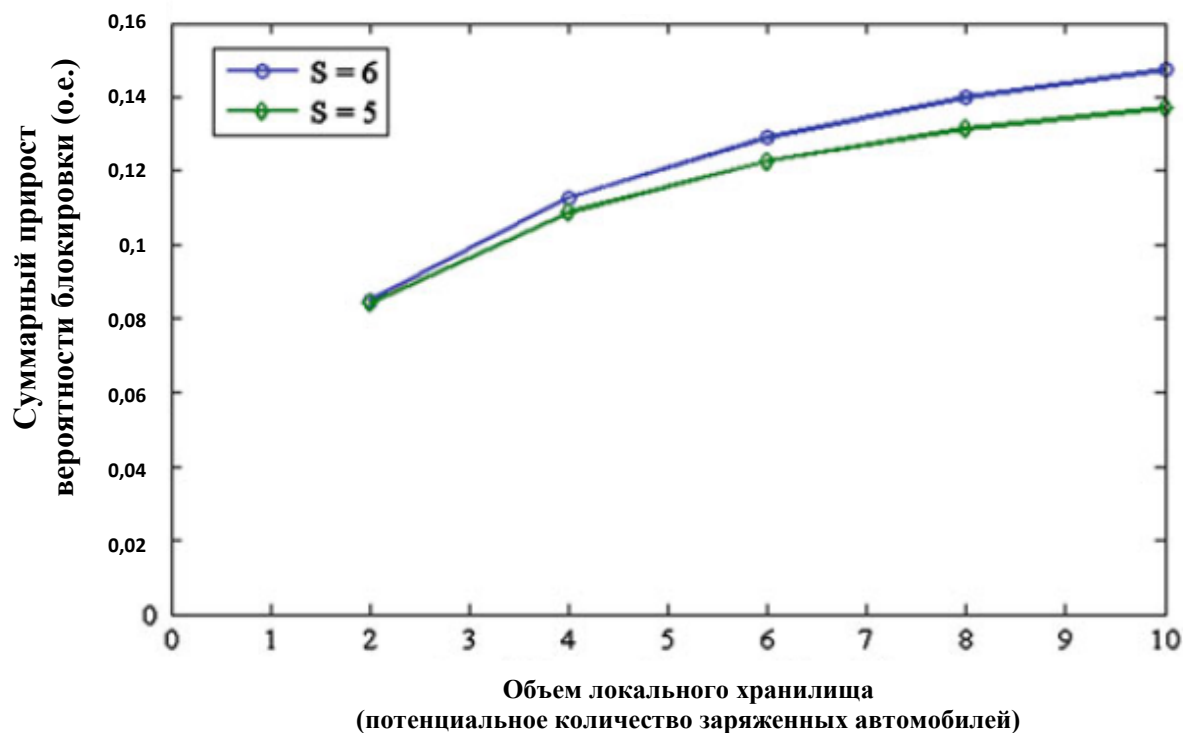


Рис. 4. Средний прирост вероятности блокировки в зависимости от размера батареи

Комбинации  $S$  и  $R$  обеспечивают заданную вероятность блокировки и результирующую максимально допустимую скорость поступления, снова фиксируя  $\nu = 1$  (рис. 5). Видно, что системы с большим  $S$  одинаково предпочтительны. Однако на практике такие конфигурации зарядных станций нежелательны, поскольку они создают большую нагрузку на сеть, как было указано ранее.

Вышеизложенная краткая оценка дает представление о компромиссах между размером накопителя энергии, вероятностью блокировки и скоростью прибытия транспортных средств. Далее возьмем простую модель, основанную на простых финансовых принципах, связывающую параметры ценообразования с параметрами модели массового обслуживания. Эта модель может служить руководством для выбора наилучшего рабочего диапазона зарядной станции, а также возможных стратегий управления (рис. 6).

$$\nu = 1, \mu = 1$$

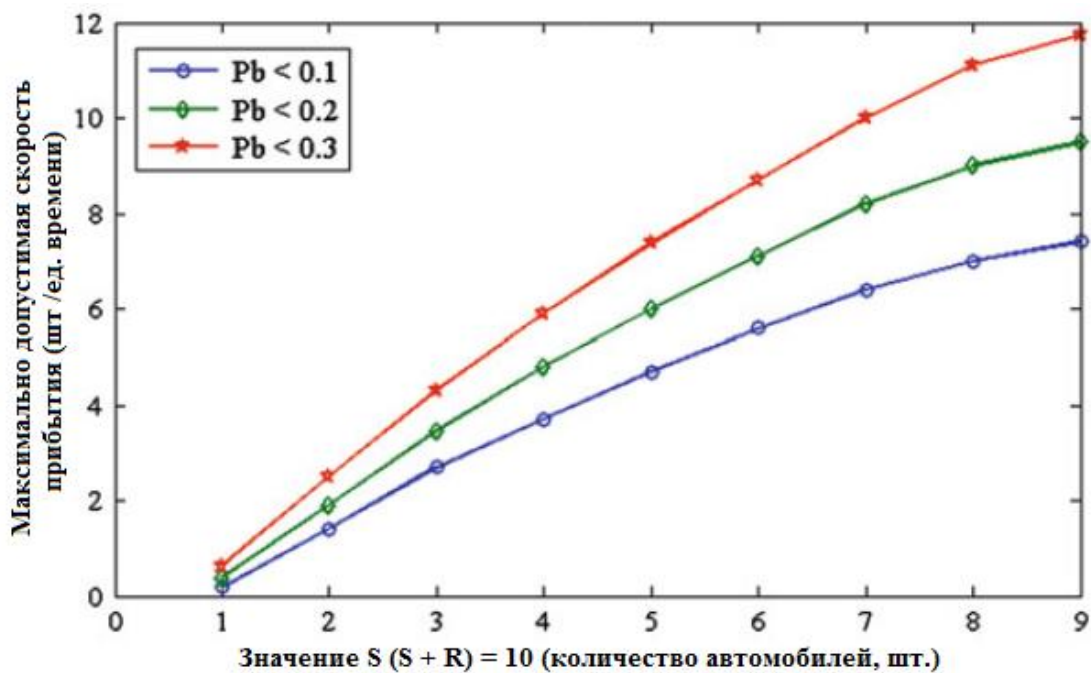


Рис. 5. Максимальная поддерживаемая скорость прибытия для заданной вероятности блокировки

$$S = 6, \nu = 1, \mu = 1$$

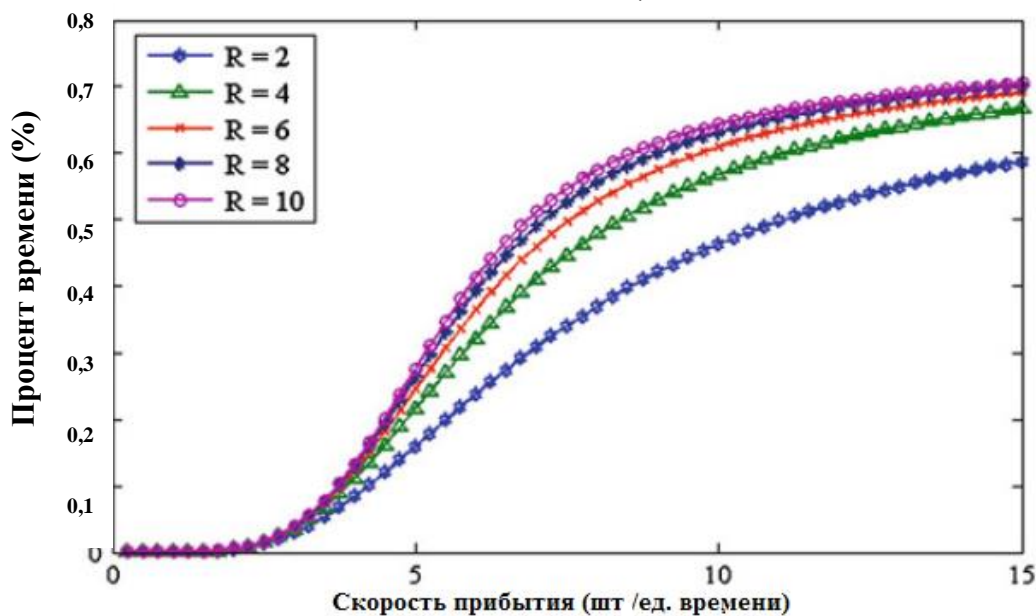


Рис. 6. Максимальная поддерживаемая скорость прибытия для заданной вероятности блокировки

Предполагается, что оператор зарядной станции получает доход от каждого успешно заряженного транспортного средства. Однако заблокированные транспортные средства – это недовольные клиенты-водители, которым необходимо возместить ущерб.



Пусть  $R_g$  и  $R_l$  будут доходом, полученным в расчете на одно транспортное средство при зарядке от сети и накопителя соответственно. Пусть  $C_b$  обозначает стоимость заблокированного транспортного средства,  $C_0$  – фиксированную стоимость установки хранилища, а  $C_a$  – стоимость приобретения, пропорциональную его вместимости  $R$ .

Пусть функция  $\rho^{(g)} = \{ (I, j) : 0 \leq i \leq S, 0 \leq j \leq R \}$  обозначает состояния зарядки сети,  $\rho^{(l)} = \{ (i, j) : S + j \leq i \leq S + R, 1 \leq j \leq R \}$  – заряд накопителя. Обозначим также через  $\rho^{(bl)}$  блокирующие состояния. Наконец,  $\pi(s)$  – стационарная вероятность общего состояния  $s \equiv (i, j)$  и  $i(s)$  – количество транспортных средств, получающих обслуживание в пределах  $s$ . Тогда предлагаемая функция прибыли может быть записана как

$$P = \sum_{s \in \rho^{(g)}} R_g i(s) \pi(s) + \sum_{s \in \rho^{(l)}} R_l i(s) \pi(s) - (C_0 + RC_a) - \sum_{s \in \rho^{(bl)}} C_b i(s) \pi(s).$$

В соответствии со спецификацией различных параметров модели ( $R_g = R_l = 1$ ,  $C_b = 1,25$ ,  $C_0 = 2$  и  $C_a = 0,001$ ) устанавливаем мощность зарядки от сети на  $S = 6$ , скорость зарядки – на  $\mu = \nu = 1$  и, варьируя размер накопителя, построим зависимость прибыли от скорости поступления (рис. 7), установив пропускную способность сети  $S = 6$ ,  $\mu = \nu = 1$  и изменяя как скорость поступления от 1 до 9, так и  $R$  от 5 до 9. Очевидно, что при очень малых скоростях прибытия станция невыгодна из-за малого количества обслуживаемых транспортных средств, в то время как при больших скоростях происходит то же самое из-за большого количества отклоненных транспортных средств. Стоит отметить, что для всех размеров  $R$  прибыль максимизируется при одной и той же скорости поступления, хотя для больших размеров  $R$  прибыль одинакова для большего диапазона скоростей поступления.

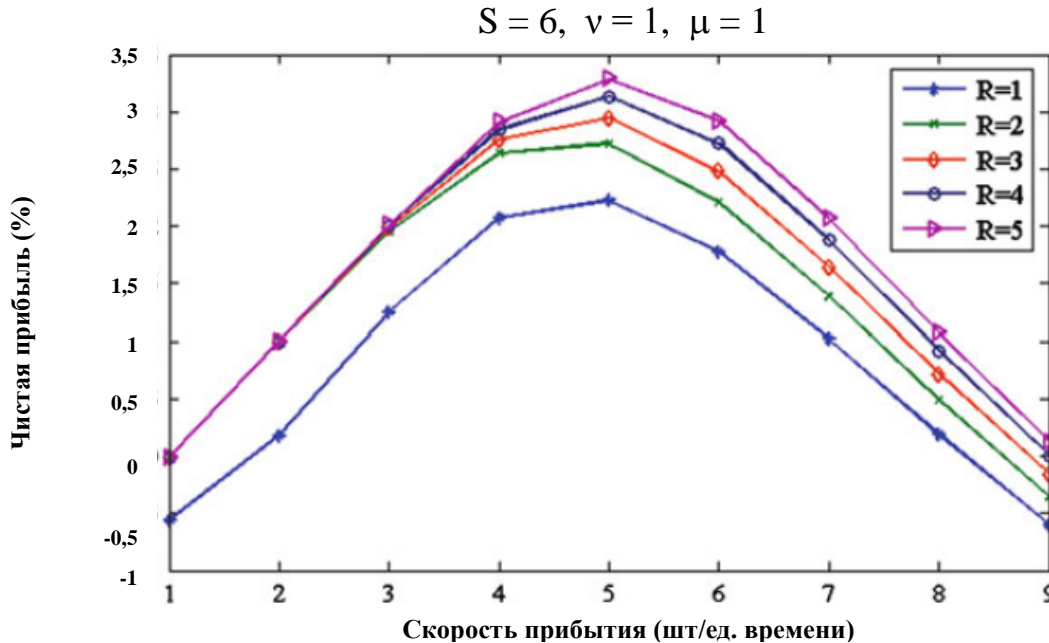


Рис. 7. Максимальная поддерживаемая скорость прибытия для заданной вероятности блокировки

Модель предполагает возможность выбора размера станции (R; S) на основе финансовых принципов. Это также позволит оценить различные схемы поощрения владельцев транспортных средств, чтобы они отказались от зарядки своей машины в определенное время, тем самым снизив скорость прибытия и, следовательно, вероятность блокировки за счет дополнительных затрат для оператора станции.

В настоящей статье мы рассмотрели ряд вопросов и проблем, связанных с интеллектуальными транспортными средствами в эпоху интеллектуальных сетей и в первую очередь с требованиями к управлению, связи и инфраструктуре. Как можно увидеть, существует потребность в зарядных станциях, включающих в себя блок хранения для того, чтобы справляться с пиковыми нагрузками и обеспечивать при этом приемлемое качество обслуживания транспортных средств. Была введена стохастическая модель, которая позволила оценить производительность зарядной станции с учетом характеристик трафика, размера накопителя энергии, ценовых и стоимостных параметров. Такие идеи важны при проектировании будущих зарядных станций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколова Ю.М. «SMARTGRID» в России // *Теоретические, экспериментальные и прикладные исследования молодых ученых тверского государственного технического университета: Сборник научных трудов*. Тверь: ТвГТУ. 2017. С. 362–366.
2. Крылов К. Выдержит ли современная энергосистема, если все пересядут на электромобили? URL: <https://news.itmo.ru/ru/science/cyberphysics/news/10193/> (дата обращения: 18.03.2023).
3. Детинич Г. Ночные тарифы на электричество нужно отменить из-за распространения электромобилей, выяснили ученые. URL: <https://3dnews.ru/1074998/nochnie-tarifi-zlo-elektromobili-nado-zaryagat-dnyom-i-na-rabote-schitayut-amerikanskie-uchyonie> (дата обращения: 19.03.2023).
4. Smart grid. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/финансы> (дата обращения: 25.03.2023).
5. Barter P. "Cars are parked 95% of the time". Let's check!. URL: [turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.eb5112cf-64f59199-ac21c22b-74722d776562/https/www.reinventingparking.org/2013/02cars-are-parked-95-of-time-lets-check.html](https://turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.eb5112cf-64f59199-ac21c22b-74722d776562/https/www.reinventingparking.org/2013/02cars-are-parked-95-of-time-lets-check.html) (дата обращения: 25.03.2023).
6. Arora S., Abkenar A.T., Jayasinghe S.G., Tammi K. Chapter 5. EV Battery Pack Engineering—Electrical Design and Mechanical Design // *Heavy-Duty Electric Vehicles*. 2021, pp. 105–134.
7. Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура / Э. Джутон, К. Рейн, В. Совант-Мойно, Ф. Орсини, К. Сабер, С. Бача, О. Бету, Э. Лабуре; пер. с франц. В.И. Петровичева. М.: ДМК Пресс. 2022. 440 с.
8. M/M/1 queue. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/M/M/1\\_queue](https://en.wikipedia.org/wiki/M/M/1_queue) (дата обращения: 04.04.2023).
9. Turitsyn K., Sinitsyn N., Backhaus S., Chertkov M. Robust broadcast-communication control of electric vehicle charging // *2010 first IEEE international conference on smart grid communications (SmartGridComm)*. 2010, pp. 203–207.
10. Stewart W.J. Probability, Markov chains, queues, and simulation: the mathematical basis for performance modeling. Princeton University Press, New Jersey. 2010.
11. Local energy storage sizing in plug-in hybrid electric vehicle charging stations under blocking probability constraints / I.S. Bayram, G. Michailidis, M. Devetsikiotis, S. Bhattacharya, A. Chakraborty, F. Granelli // *Architectures and models for the smart grid (IEEE*

*SmartGridComm*) (*IEEE SmartGridComm 2011 track-architectures and models*). Brussels, Belgium. 2011.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ПАВЛОВА Юлия Михайловна* – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение и электротехника», ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: sokolhawk98@gmail.com

*ТОРГОВАНОВА Ольга Николаевна* – старший преподаватель кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: maerz25@mail.ru

*ПАВЛОВ Александр Вячеславович* – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: pavlovaleksandr636@gmail.com

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Павлова Ю.М., Торгованова О.Н., Павлов А.В. Электромобили: проблемы, тенденции и проектирование зарядных станций // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 3 (19). С. 63–74.

---

## ELECTRIC VEHICLES: PROBLEMS, TRENDS AND DESIGN OF CHARGING STATIONS

*Yu.M. Pavlova, O.N. Torgovanova, A.V. Pavlov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The paper discusses the current trends and challenges in the development of "smart electric vehicles" based on new electric and plug-in hybrid electric vehicles. It is noted that the current electrical grid is unable to handle the increased demand for electricity needed for the large number of charging stations, especially during peak times. It is also indicated that the envisioned critical infrastructure for such vehicles should include the ability to share information regarding energy availability, distances, congestion levels, etc. Topics related to control, demand response, infrastructure provisioning and communication infrastructure required to realise the above functions are explored.

**Keywords:** electric vehicle, plug-in hybrid electric vehicle, smart grid, smart grid, charging station, fast charging, electric grid, power grid, smart grid.

### REFERENCES

1. Sokolova Yu.M. «SMARTGRID» in Russia. *Theoretical, experimental and applied research of young scientists of Tver State Technical University: Collection of scientific papers*. Tver: TvSTU. 2017, pp. 362–366. (In Russian).
2. Krylov K. Will the modern power system survive if everyone switches to electric cars? URL: <https://news.itmo.ru/ru/science/cyberphysics/news/10193/> (date of access: 18.03.2023). (In Russian).

3. Detinich G. Night electricity tariffs should be canceled due to the spread of electric vehicles, scientists have found. URL: <https://3dnews.ru/1074998/nochnie-tarifi-zlo-elektromobili-nado-zaryagat-dnyom-i-na-rabote-schitayut-amerikanskie-uchyonie> (date of access: 19.03.2023). (In Russian).
4. Smart grid. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/финансы> (date of access: 25.03.2023).
5. Barter P. «Cars are parked 95% of the time». Let's check!. URL: [turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.eb5112cf-64f59199-ac21c22b-74722d776562/https/www.reinventingparking.org/2013/02cars-are-parked-95-of-time-lets-check.html](http://turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.eb5112cf-64f59199-ac21c22b-74722d776562/https/www.reinventingparking.org/2013/02cars-are-parked-95-of-time-lets-check.html) (date of access: 25.03.2023).
6. Arora S., Abkenar A.T., Jayasinghe S.G., Tammi K. Chapter 5. EV Battery Pack Engineering–Electrical Design and Mechanical Design. *Heavy-Duty Electric Vehicles*. 2021, pp. 105–134.
7. Elektromobil': ustrojstvo, princip raboty, infrastruktura [Electric vehicle: device, principle of operation, infrastructure] / E. Juton, K. Rein, V. Sovant-Moino, F. Orsini, K. Saber, S. Bacha, O. Betu, E. Labure; translated from French by V.I. Petrovichev. Moscow: DMK Press. 2022. 440 p.
8. M/M/1 queue. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/M/M/1\\_queue](https://en.wikipedia.org/wiki/M/M/1_queue) (date of access: 04.04.2023).
9. Turitsyn K., Sinitsyn N., Backhaus S., Chertkov M. Robust broadcast-communication control of electric vehicle charging. *2010 first IEEE international conference on smart grid communications (SmartGridComm)*. 2010, pp. 203–207.
10. Stewart W.J. Probability, Markov chains, queues, and simulation: the mathematical basis for performance modeling. Princeton University Press, New Jersey. 2010.
11. Local energy storage sizing in plug-in hybrid electric vehicle charging stations under blocking probability constraints / I.S. Bayram, G. Michailidis, M. Devetsikiotis, S. Bhattacharya, A. Chakraborty, F. Granelli. *Architectures and models for the smart grid (IEEE SmartGridComm) (IEEE SmartGridComm 2011 track-architectures and models)*. Brussels, Belgium. 2011.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*PAVLOVA Yulia Mikhailovna* – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [sokolhawk98@gmail.com](mailto:sokolhawk98@gmail.com)

*TORGOVANOVA Olga Nikolaevna* – Senior Lecturer of the Department of Foreign Languages, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [maerz25@mail.ru](mailto:maerz25@mail.ru)

*PAVLOV Alexander Vyacheslavovich* – Master's Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: [pavlovaleksandr636@gmail.com](mailto:pavlovaleksandr636@gmail.com)

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Pavlova Yu.M., Torgovanova O.N., Pavlov A.V. Electric vehicles: problems, trends and design of charging stations // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 3 (19), pp. 63–74.