

УДК 621.31:629.33

EDN KDKAJJ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЗАРЯДКЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ОТ БЫТОВОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**П.В. Терентьев**

ORCID: 0009-0007-1538-7120 e-mail: [terentyevpv@inbox.ru](mailto:terentyevpv@inbox.ru)

Нижегородский государственный агротехнологический университет  
им. Л.Я. Флорентьева  
Нижний Новгород, Россия

**Д.А. Филатов**

ORCID: 0000-0002-8150-6542 e-mail: [filatov\\_da@inbox.ru](mailto:filatov_da@inbox.ru)

Нижегородский государственный агротехнологический университет  
им. Л.Я. Флорентьева  
Нижний Новгород, Россия

**И.А. Цыганов**

e-mail: [5hromovka@gmail.com](mailto:5hromovka@gmail.com)

Нижегородский государственный агротехнологический университет  
им. Л.Я. Флорентьева  
Нижний Новгород, Россия

Представлены результаты экспериментального исследования процесса зарядки отечественного электромобиля *Evolute i-Joy I* поколения в бытовых условиях. Измерения проводились с помощью портативного анализатора качества электроэнергии *CIRCUATOR AR.5L* при зарядке от трехфазной сети с использованием портативного зарядного устройства *Workersbee IC-CPD* на токе 6 А. Основной акцент сделан на анализ потребления электроэнергии и показателей качества электроэнергии в течение полного цикла зарядки высоковольтной аккумуляторной батареи (ВВБ) электромобиля емкостью 53 кВт·ч с 18 % до 100 % при начальной температуре ВВБ +1°C. Полный цикл занял 12 часов 32 минуты. Установлено, что для восполнения полезной емкости ВВБ 43,46 кВт·ч (82 % от 53 кВт·ч) из сети потреблено 46,053 кВт·ч, что указывает на КПД процесса зарядки около 94,4 % с учетом энергозатрат на терморегуляцию. Проанализированы временные зависимости фазных напряжений, токов, активной и реактивной мощностей, коэффициента мощности, а также коэффициентов гармонических искажений напряжения  $THD_U$  и тока  $THD_I$ . Выявлена высокая стабильность коэффициента мощности (среднее значение > 0,98) и умеренный уровень гармонических искажений тока на протяжении большей части цикла. Полученные данные важны для оценки нагрузки на домашние электросети, планирования энергопотребления и разработки рекомендаций по обеспечению качества электроэнергии при массовом внедрении электромобилей.

**Ключевые слова:** высоковольтная аккумуляторная батарея; гармонические искажения; *Evolvute i-Joy*; зарядка от бытовой сети; качество электроэнергии; коэффициент мощности; потребление электроэнергии; электромобиль; эффективность зарядки.

**Для цитирования:** Терентьев П.В., Филатов Д.А., Цыганов И.А. Исследование энергопотребления и качества электроэнергии при зарядке отечественного электромобиля от бытовой сети переменного тока // Интеллектуальная Электротехника. 2026. № 2. С. 63-73. EDN KDKAJJ

## **STUDY OF ENERGY CONSUMPTION AND POWER QUALITY WHEN CHARGING DOMESTIC ELECTRIC VEHICLE FROM HOUSEHOLD AC POWER NETWORK**

**P.V. Terentyev**

ORCID: 0009-0007-1538-7120 e-mail: [terentyevpv@inbox.ru](mailto:terentyevpv@inbox.ru)  
Nizhny Novgorod State Agrotechnological University n.a. L.Ya. Florentyev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**D.A. Filatov**

ORCID: 0000-0002-8150-6542 e-mail: [filatov\\_da@inbox.ru](mailto:filatov_da@inbox.ru)  
Nizhny Novgorod State Agrotechnological University n.a. L.Ya. Florentyev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**I.A. Tsyganov**

e-mail: [5hromovka@gmail.com](mailto:5hromovka@gmail.com)  
Nizhny Novgorod State Agrotechnological University n.a. L.Ya. Florentyev  
*Nizhny Novgorod, Russia*

**Abstract.** The paper presents the results of an experimental study of the charging process of the Evolute i-Joy 1st generation electric vehicle from a household power network. Measurements were carried out using a portable power quality analyzer CIRCUTOR AR.5L during charging from a three-phase network using a portable charger Workersbee IC-CPD at a current of 6 A. The main emphasis is on the analysis of electricity consumption and power quality indicators during a full charging cycle of the high-voltage battery of the electric vehicle with a capacity of 53 kWh from 18 % to 100 % at an initial battery temperature of +1°C. The full cycle took 12 hours 32 minutes. It was found that 46.053 kWh were consumed from the grid to replenish the useful capacity of the battery of 43.46 kWh (82 % of 53 kWh), indicating a charging efficiency of approximately 94.4 %, taking into account energy costs for thermal regulation. The time dependencies of phase voltages, currents, active and reactive powers, power factor, as well as harmonic distortion coefficients of voltage THD<sub>U</sub> and current THD<sub>I</sub> were analyzed. High stability of the power factor (average value >0.98) and a moderate level of harmonic distortion of the current for most of the cycle were revealed. The obtained data are important for assessing the load on

home electrical networks, planning energy consumption, and developing recommendations for ensuring power quality during the widespread adoption of electric vehicles.

**Keywords:** high-voltage battery; harmonic distortion; Evolute i-Joy; mains charging; power quality; power factor; power consumption; electric car; charging efficiency.

**For citation:** P.V. Terentyev, D.A. Filatov and I.A. Tsyganov, “Study of energy consumption and power quality when charging domestic electric vehicle from household AC power network”, *Smart Electrical Engineering*, no. 2, pp. 63-73, 2026. EDN KDKAJJ

## I. Введение

Активное развитие электротранспорта в Российской Федерации ставит новые задачи перед энергетическими системами, в том числе перед распределительными сетями низкого напряжения. Массовая зарядка электромобилей (ЭМ) в жилом секторе создает специфическую нагрузку, характеризующуюся большой мощностью, продолжительностью работы и наличием нелинейных элементов (выпрямителей, преобразователей). Это может приводить к ухудшению качества электроэнергии (КЭ) в общей сети: росту коэффициента несинусоидальности напряжения, перекосу фаз, увеличению потерь [1-6].

Особый интерес представляет исследование отечественных моделей ЭМ, таких как *Evolute i-Joy*, в реальных условиях эксплуатации. Большинство пользователей на начальном этапе будут использовать зарядку от бытовой одно- или трехфазной сети переменного тока (АС) с помощью портативных зарядных устройств. Несмотря на наличие зарубежных исследований в этой области [3, 5], данные по реальным параметрам качества электроэнергии для конкретных моделей электромобилей, адаптированных к российским условиям эксплуатации (в частности, при низких температурах), в открытом доступе представлены недостаточно. Научная новизна работы заключается в получении уникальных экспериментальных данных о процессе зарядки серийного отечественного электромобиля в реальных климатических условиях средней полосы России. Результаты позволяют количественно оценить влияние зарядки на бытовую сеть и восполнить пробел в верификации расчетных моделей электроснабжения.

Целью данной работы является комплексный мониторинг и анализ параметров электроснабжения и потребления при полном цикле зарядки электромобиля *Evolute i-Joy* I поколения от бытовой трехфазной сети. Полученные данные предназначены для оценки воздействия зарядки на качество электроэнергии в точке общего присоединения, а также для последующего использования при имитационном моделировании режимов работы распределительных сетей и разработке рекомендаций по управлению нагрузкой в условиях массового внедрения электротранспорта.

## II. Методика и условия эксперимента

*Объект исследования* – электромобиль *Evolute i-Joy* I поколения. Основные характеристики: высоковольтная батарея (ВВБ) *Li-NMC* емкостью 53 кВт·ч, запас хода 407 км (по методике *NEDC*), электродвигатель мощностью 120 кВт (163 л.с.) [7]. На момент начала зарядки состояние заряда (*SoC*) ВВБ составляло 18 %, температура ВВБ +1°C. Температура воздуха в гараже +16°C.

*Оборудование и средства измерений.*

Зарядное устройство: портативный *Workersbee IC-CPD* с разъемом *Type 2*, поддерживающий регулировку зарядного тока: 6 А, 8 А, 10 А, 13 А, 16 А. Для эксперимента установлен ток 6 А на каждую фазу.

Анализатор качества электроэнергии: портативный прибор *CIRCUTOR* серии *AR.5L* [8]. Прибор осуществлял синхронный замер по трем фазам с высокой точностью и запись данных с интервалом 2 мин.

Измеряемые параметры: фазные напряжения ( $U_a, U_b, U_c$ ), токи ( $I_a, I_b, I_c$ ), активные ( $P_a, P_b, P_c$ ) и реактивные ( $Q_a, Q_b, Q_c$ ) мощности, коэффициент мощности ( $\cos\phi$ ), суммарный коэффициент гармонических искажений напряжения ( $THD_U$ ) и тока ( $THD_I$ ) для каждой фазы, а также суммарная потребляемая электроэнергия ( $W_{\Sigma}$ ).

*Процедура эксперимента.*

Зарядка начата 15.01.2026 в 23:54:00 и завершена 16.01.2026 в 12:26:00. Точка подключения зарядного устройства – отдельная выделенная линия, непосредственно подключенная к вводно-распределительному устройству (ВРУ) частного домохозяйства. Это позволило минимизировать влияние других бытовых потребителей на результаты измерений и оценить воздействие зарядки на сеть без наложения дополнительных помех. Анализатор был подключен между розеткой трехфазной сети и зарядным устройством. Данные регистрировались непрерывно на протяжении всего процесса.

## III. Результаты и обсуждения

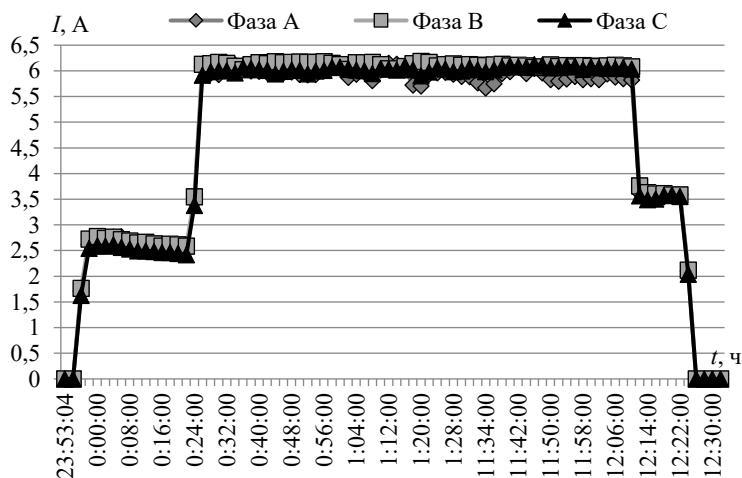
Общая энергетическая характеристика процесса. Полный цикл зарядки от 18 до 100 % *SoC* длился 12 час 32 мин. По данным анализатора, суммарная активная энергия, потребленная из сети, составила 46,053 кВт·ч. Полезная энергия, запасенная в ВВБ, рассчитывается как: 53 кВт·ч · (100 % – 18 %) = 43,46 кВт·ч.

Таким образом, общий КПД процесса зарядки, включая потери в зарядном кабеле, бортовом зарядном устройстве ЭМ, а также энергозатраты на нагрев и терморегуляцию холодной ВВБ, составил:  $\eta = (43,46 \text{ кВт}\cdot\text{ч} / 46,053 \text{ кВт}\cdot\text{ч}) \cdot 100 \% \approx 94,4 \%$ .

Высокое значение КПД указывает на эффективность бортовой зарядной инфраструктуры ЭМ *Evolute i-Joy* даже в условиях низкой температуры

ВВБ. Следует отметить, что примерно первые 30 минут процесса были затрачены на предварительный нагрев батареи, о чем свидетельствует начальный этап с более низким током (около 2,6-3,5 А) до его выхода на номинальный уровень  $\sim 6$  А (рис. 1).

Для детального анализа стационарных участков графики на рис. 1, 3, 4 представлены с разрывом временной оси (период с 01:30 до 11:30 исключен, так как на этом интервале параметры остаются практически неизменными). Это позволило укрупнить масштаб на начальном и конечном этапах зарядки, где наблюдаются наиболее интересные переходные процессы.



**Рис. 1.** Изменение потребляемого тока по фазам *A, B, C* в процессе зарядки высоковольтной аккумуляторной батареи электромобиля (с разрывом оси времени для исключения длительного стационарного участка)

**Fig. 1.** Change in current consumption in phases *A, B, C* during the charging of a high-voltage battery of an electric vehicle (with a break in the time axis to exclude a long stationary section)

*Анализ токов, напряжений и мощности.* Напряжение в трехфазной сети на протяжении всего эксперимента оставалось в пределах, установленных ГОСТ 32144-2013 [1]. Максимальное значение фазного напряжения зафиксировано на уровне 232 В, минимальное на уровне 207 В. Средние значения по фазам: Фаза *A*  $\sim 220$  В, Фаза *B*  $\sim 212$  В, Фаза *C*  $\sim 211$  В. Наблюдается заметный перекос фазных напряжений, максимальное значение которого достигало 9,1 % (разница между максимальным напряжением фазы *A* и минимальным напряжением фазы *C*). Динамика изменения напряжения, представленная на рис. 2, обусловлена прежде всего уровнем напряжения в точке передачи электрической энергии (на вводе в домохозяйство), который

зависит от загрузки распределительной сети 0,4 кВ со стороны сетевой организации. Вклад зарядного устройства в изменение напряжения незначителен ввиду малой потребляемой мощности. Несмотря на перекос, процесс зарядки протекал стабильно, без сбоев и существенного изменения потребляемых токов, что свидетельствует о достаточной устойчивости бортового зарядного устройства к подобным отклонениям в питающей сети.

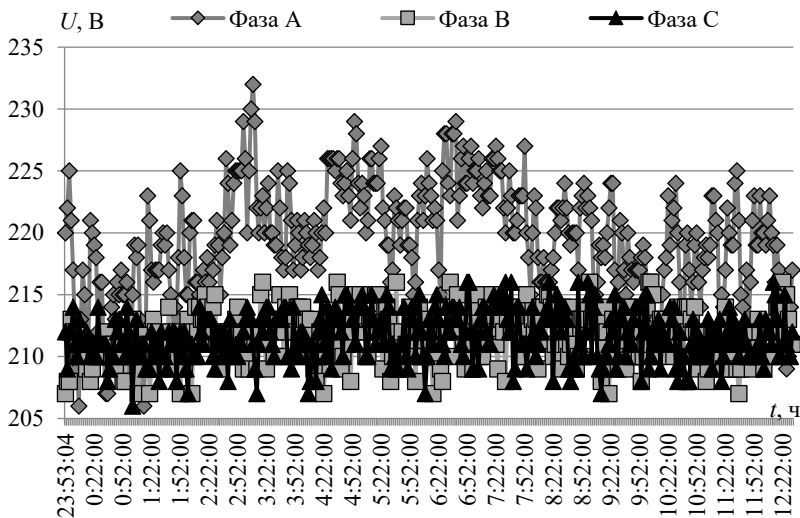


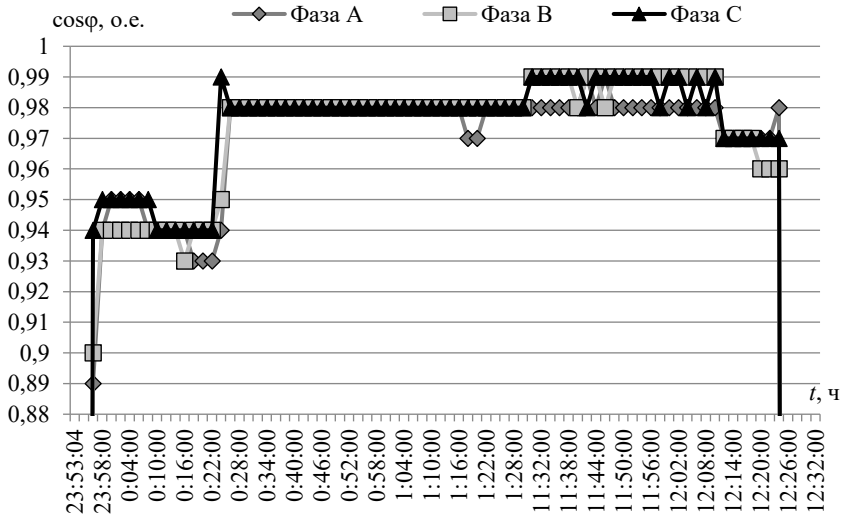
Рис. 2. Изменение напряжения в трехфазной сети по фазам А, В, С в процессе зарядки

Fig. 2. Change in voltage in a three-phase network in phases А, В, С during the charging process

Потребляемый ток по каждой фазе после выхода на рабочий режим (с 00:24:00) оставался стабильным и близким к установленному значению 6 А, со средним значением около 5,9-6,0 А и незначительными колебаниями (рис. 1). В конце цикла (с 12:12:00) наблюдался характерный для литиевых ВВБ этап дозарядки малым током, завершившийся отключением.

Суммарная активная мощность на этапе основной зарядки составляла примерно 3,85 кВт (сумма по трем фазам:  $\sim 1,28$  кВт/фаза), что соответствует ожидаемому значению при токе 6 А и  $\cos\varphi \approx 1$ .

Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ ) на протяжении всего основного цикла зарядки поддерживался на исключительно высоком уровне – 0,97-0,99 (рис. 3). Это свидетельствует о корректной работе корректора коэффициента мощности ( $PFC$ ) в бортовом зарядном устройстве электромобиля, что минимизирует реактивную составляющую нагрузки и снижает потери в сети.



**Рис. 3. Динамика коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) по фазам в процессе зарядки (с разрывом оси времени для исключения длительного стационарного участка)**

**Fig. 3. Dynamics of the power factor ( $\cos\varphi$ ) by phase during the charging process (with a break in the time axis to exclude a long stationary section)**

*Анализ гармонических искажений.* Коэффициент гармонических искажений тока ( $THD_I$ ) является ключевым показателем нелинейности нагрузки. На начальном этапе (первые 10 минут) при малом токе нагрева ВВБ наблюдались высокие значения  $THD_I$  (до 80 %), что связано с работой электроники на низкой мощности. После выхода на номинальный режим (с ~ 00:30:00) значение  $THD_I$  стабилизировалось и находилось в диапазоне 9-13 % по всем фазам на протяжении всей основной зарядки (рис. 4). Такие значения являются умеренными для однофазных нелинейных нагрузок и соответствуют современным требованиям к зарядной технике [9, 10]. Коэффициент гармонических искажений напряжения ( $THD_U$ ) в точке подключения находился в пределах 4-8 % и не демонстрировал значимого роста в течение зарядки, оставаясь ниже предельно допустимого значения в 8 % (ГОСТ 32144-2013 для сетей 0,4 кВ). Это указывает на достаточную мощность короткого замыкания в месте проведения эксперимента, а также на умеренное влияние зарядки ЭМ на качество напряжения.

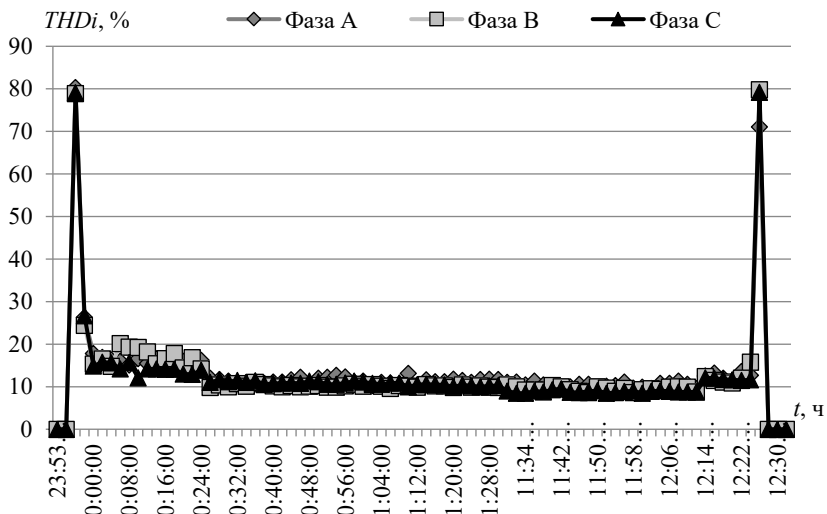


Рис. 4. Изменение коэффициента гармонических искажений тока ( $THDI$ ) по фазам  $A$ ,  $B$ ,  $C$  в процессе зарядки (с разрывом оси времени для исключения длительного стационарного участка)

Fig. 4. Change in the current harmonic distortion factor ( $THDI$ ) in phases  $A$ ,  $B$ ,  $C$  during the charging process (with a break in the time axis to exclude a long stationary section)

#### IV. Заключение

Проведен полный мониторинг цикла зарядки отечественного электромобиля *Evolvate i-Joy* от бытовой трехфазной сети с силой тока 6 А. В ходе исследования получены количественные оценки энергоэффективности и влияния зарядки на качество электроэнергии в условиях, характерных для эксплуатации в РФ. Бортовое зарядное устройство электромобиля обеспечивает высокий и стабильный коэффициент мощности ( $\cos\varphi > 0,98$ ) на протяжении основной фазы зарядки, что минимизирует реактивные потери и благоприятно сказывается на режиме работы сети. Уровень гармонических искажений тока в установившемся режиме зарядки не превышает 13 %, что соответствует современным нормам и позволяет классифицировать зарядное устройство как некритичный источник гармоник для типовых бытовых сетей.

Научная и практическая значимость полученных результатов заключается в следующем.

*Верификация моделей.* Экспериментально полученные зависимости токов, мощностей и уровней гармоник могут быть использованы для

настройки и верификации имитационных компьютерных моделей (например, в средах *MATLAB/Simulink*) для прогнозирования режимов работы распределительных сетей при различной степени насыщения электромобилями.

*Масштабирование результатов.* Выявленная высокая линейность нагрузки ( $\cos\varphi \approx 1$  и умеренный  $THD_I$ ) позволяет экстраполировать полученные данные. При увеличении количества зарядных сессий в одном узле сети можно прогнозировать суммарную нагрузку простым суммированием мощностей, что упрощает расчеты для энергоснабжающих организаций.

*Корректировка сценариев эксплуатации.* Зафиксированный этап предварительного нагрева батареи (30 мин при низкой температуре) и связанное с ним увеличение времени зарядки и снижение общей эффективности указывают на необходимость разработки для пользователей рекомендаций по термоменеджменту (например, зарядка в отапливаемых помещениях или использование таймеров для завершения зарядки к моменту поездки).

Перспективы дальнейших исследований авторов связаны с проведением серии аналогичных экспериментов для различных температурных условий (летний период), для других моделей электромобилей, а также при различных режимах зарядки (8 А, 10 А, 16 А) с целью создания обширной базы данных. Планируется также исследование влияния процесса зарядки на несимметрию в сетях 0,4 кВ при подключении большого числа однофазных зарядных станций.

© Терентьев П.В., 2026

© Филатов Д.А., 2026

© Цыганов И.А., 2026

*Поступила в редакцию 13.02.2026*

*Принята к публикации 10.04.2026*

*Received 13.02.2026*

*Accepted 10.04.2026*

### Библиографический список

- [1] ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 13 с.
- [2] Терентьев П.В. Исследование качества и повышение эффективности использования электроэнергии в электротехнических комплексах служебных и жилых зданий: автореф. дис. канд. техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, 2014. – 20 с.

- [3] Yong J.Y., Ramachandaramurthy V.K., Tan K.M., Mithulananthan N. A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. № 49 (4). С. 365-385. DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.130
- [4] Терентьев П.В., Филатов Д.А., Цыганов И.А., Лупов А.К. Оценка эффективности перевода корпоративного транспорта бюджетных учреждений на электромобили отечественного производства в условиях Нижегородской области // *Флагман науки: научный журнал*. 2025. № 10 (33). С. 351-358.
- [5] Clement-Nyns K., Haesen E., Driesen J. The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid // *IEEE Transactions on Power Systems*. 2010. № 25 (1). P. 371-380. DOI: 10.1109/TPWRS.2009.2036481
- [6] Филатов Д.А., Терентьев П.В. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетике сельского хозяйства. Н. Новгород: НГСХА, 2017. – 116 с.
- [7] Техническая документация на электромобиль Evolute i-Joy // Evolute. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.evolute.ru> (дата обращения 01.01.2026).
- [8] Руководство по эксплуатации портативного анализатора качества электроэнергии CIRCUTOR AR.5L. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.manualslib.com/c/circutor+ar.5l.html> (дата обращения 01.01.2026).
- [9] ГОСТ IEC 61000-3-2-2021. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-2. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с выходным током не более 16 А на фазу). Введ. 2023-07-01. М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 36 с.
- [10] ГОСТ IEC 61000-3-12-2016. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-12. Нормы. Нормы гармонических составляющих тока, создаваемых оборудованием, подключаемым к общественным низковольтным системам, с входным током более 16 А, но не более 75 А в одной фазе. Введ. 2017-09-01. М.: Стандартинформ, 2020. – 21 с.

### References

- [1] Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems, GOST 32144-2013, July 2014.
- [2] P.V. Terentyev, “*Issledovanie kachestva i povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya elektroenergii v elektrotekhnicheskikh kompleksah sluzhebnyh i zhilyh zdaniy [Study of quality and improvement of efficiency of electric power use in electrical complexes of office and residential buildings]*”, Cand. of Tech. S. thesis, NNSTU, Nizhny Novgorod, Russia, 2014 (in Russian).
- [3] J.Y. Yong, V.K. Ramachandaramurthy, K.M. Tan and N. Mithulananthan, “A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, no. 4, pp. 365-385, Apr. 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2015.04.130
- [4] P.V. Terentyev, D.A. Filatov, I.A. Tsyganov and A.K. Lupov, “Assessment of the efficiency of transferring corporate transportation of budgetary institutions to domestic-produced electric cars in the Nizhny Novgorod region”, *Flagman nauki: nauchnyy zhurnal [Flagship of Science: scientific journal]*, vol. 10, no. 33, pp. 351-358, Oct. 2025 (in Russian).

- [5] K. Clement-Nyns, E. Haesen and J. Driesen, "The impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 371-380, Feb. 2010. DOI: 10.1109/TPWRS.2009.2036481
- [6] D.A. Filatov and P.V. Terentyev, *Kachestvo elektroenergii i elektromagnitnaya sovmestimost' v elektroenergetike sel'skogo hozyajstva [Power Quality and Electromagnetic Compatibility in Agricultural Power Engineering]*. N. Novgorod: NSACA, 2017 (in Russian).
- [7] Tekhnicheskaya dokumentaciya na elektromobil' Evolute i-Joy [Technical documentation for the Evolute i-Joy electric vehicle]. [Online]. Available at: <https://www.evolute.ru> [Accessed: Jan. 1, 2026] (in Russian).
- [8] Rukovodstvo po ekspluatacii portativnogo analizatora kachestva elektroenergii CIRCUTOR AR.5L [Operating manual for the CIRCUTOR AR.5L portable power quality analyzer]. [Online] Available at: <https://www.manualslib.com/c/circutor+ar.5l.html> [Accessed: Jan. 1, 2026] (in Russian).
- [9] Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-2. Limits. Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $S \leq 16$  A per phase), GOST IEC 61000-3-2-2021, July 2023.
- [10] Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-12. Limits. Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current  $> 16$  A and  $s \leq 75$  A per phase, GOST IEC 61000-3-12-2016, Sept. 2020.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Терентьев Павел Валерьевич**, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л.Я. Флорентьева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Pavel V. Terentyev**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University n.a. L.Ya. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

**Филатов Дмитрий Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л.Я. Флорентьева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Dmitry A. Filatov**, Cand. Sci. (Eng.), associate professor, head of a chair of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University n.a. L.Ya. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

**Цыганов Илья Андреевич**, магистрант Нижегородского государственного агротехнологического университета им. Л.Я. Флорентьева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация.

**Ilya A. Tsyganov**, master of the Nizhny Novgorod State Agrotechnological University n.a. L.Ya. Florentyev, Nizhny Novgorod, Russian Federation.