УДК 621.354

В.М. ЗАВЬЯЛОВ, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой ЭЭСАС (СевГУ)
Е.А. ДУБКОВ, старший преподаватель кафедры ЭЭСАС (СевГУ)
А.С. ВЕЛИЛЯЕВ, инженер кафедры ЭЭСАС (СевГУ)
И.Ю. СЕМЫКИНА, д.т.н., доцент, директор учебно-научного центра информационных технологий обучения (СевГУ)
г. Севастополь

ИСПЫТАНИЯ ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОТЕЛЕЖКИ[1]

Все большую интенсивность в мире набирает развитие зеленых технологий, обеспечивающих более рациональное использование энергии и формирующих новые социальные практики. Важное место среди этих технологий занимает переход к преимущественному использованию электромобилей, в том числе и технологического электротранспорта, при этом неизбежно встает вопрос о технологиях заряда их аккумуляторов. И если для электромобилей личного пользования достаточно удобной с позиции логистики является развивающаяся во всех странах инфраструктура проводных зарядных станций, для некоторых типов технологического электротранспорта, применяемого, например, для складов или аэропортов, более оправданы системы беспроводного заряда, обеспечивающие высокую автономность хода. Разработка систем беспроводного заряда аккумуляторов в России относится к перспективным рынкам, продуктам и услугам [1] и в настоящее время находится на стадии НИОКР. При этом за рубежом такие системы, построенные на принципе индуктивной и магнитно-резонансной связи [2], достаточно разработаны, в том числе существуют практические рекомендации [3], определяющие допустимые критерии технической и электромагнитной совместимости, ЭДС, производительности и безопасности для устройств мощностью от 3,6 кВт до 150 кВт. Наличие такого технологического разрыва обуславливает необходимость разработки и исследования собственной системы беспроводного заряда аккумуляторов для технологического электротранспорта.

В качестве основы для разработки были приняты параметры электрооборудования электротележки серии ЕТ-20132 производства Сарапульского

[1] Приведенные результаты получены в ходе выполнения внутренних грантов Севастопольского государственного университета по проектам №34/06-31 в 2020 году и № 27/06-31 в 2021 году.

электрогенераторного завода. В прототипе применяется резонансный контур с линейной LC топологией и диодным мостом на выходе. Напряжение источника питания составляет 380 В и передается на резонансный контур через выпрямитель, а затем высокочастотный инвертор. Приемная и передающая катушки имеют прямоугольно форму с габаритом 30×60 см, не имеют металлических деталей в своей конструкции и расположены параллельно и соосно на расстоянии 10 см друг от друга. Параметры выходных цепей были определены с учетом рекомендаций [4], а параметры резонансного контура – на основе методики, изложенной в [5], таким образом передающий контур имеет емкость C_1=74,74 нФ и индуктивность L_1=25,2 мкГн, принимающий контур – соответственно C_2=75,12 нФ и L_2=26,6 мкГн. Взаимная индуктивность составила L_m=6,9 мкГн. Частота инвертора была зафиксирована на уровне 103 кГц.

Описанный прототип был поставлен на испытания с целью определить его энергетические характеристики, а также величину напряженности электромагнитного поля в области беспроводной передачи энергии. Схематично установка для проведения испытаний показана на рис. 1, а перечень используемого оборудования приведен в таблице 1. Испытания проводились в три этапа:

1) исследование системы при работе на активную нагрузку сопротивлением 2,8 Ом и мощностью 3,6 кВт;
2) исследование системы, работающей на заряд аккумулятора емкостью 360 Ач и напряжением 80 В;
3) исследование напряженности электрического и магнитного полей в окрестности передающей и принимающей катушек.

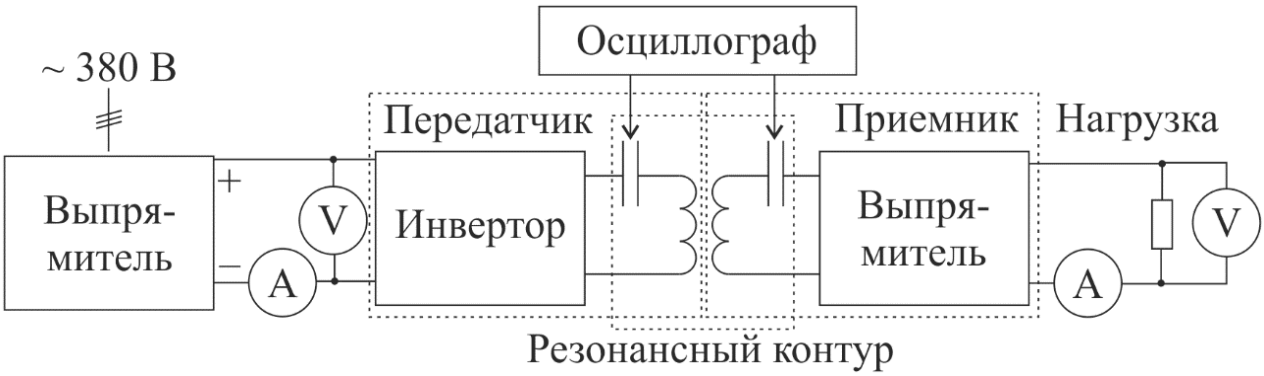


Рис. 1. Структурная схема установки для проведения испытаний прототипа системы беспроводного заряда

Таблица 1

Список используемого оборудования для проведения испытаний

Оборудование	**Марка**
Источник постоянного тока	Delta Elektronika SM330-AR-22
Осциллограф	RIGOL DS1074
Вольтметр	GW GDM-8245
Цифровой мультиметр	MAST MS8217878
Шунт	75 РИ
Измеритель электромагнитного поля	П3-70/1

В ходе первого этапа получены зависимости токов и напряжений на элементах передающего и принимающего контура, а также входной и выходной мощности в зависимости от входного напряжения инвертора U_{DC1}. По окончанию первого этапа установлено, что при работе на активную нагрузку КПД системы η с ростом U_{DC1} экспоненциально возрастает (рис. 2), значение 70 % достигается уже при 40 В. Напряжение принимающего контура U_{DC2} зависит от U_{DC1} линейно, как и токи в передающей и принимающей катушках I_{DC1} и I_{DC2}, а напряжение на конденсаторах резонансного контура U_{C1} и U_{C2} превышает U_{DC1} в среднем в 8 раз.

Результаты второго этапа показали, что все заключения, полученные при работе на активную нагрузку при выходе на номинальный ток заряда в целом справедливы и для работы системы с аккумулятором, в частности, максимальный КПД составил 75 % (рис. 2). В то же время, на начальных участках всех зависимостей наблюдается нелинейность, обусловленная наличием противоЭДС аккумулятора.

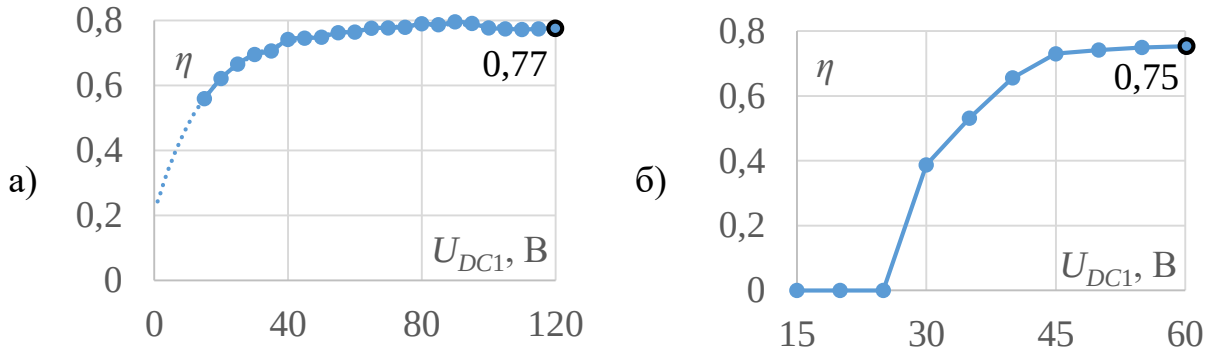
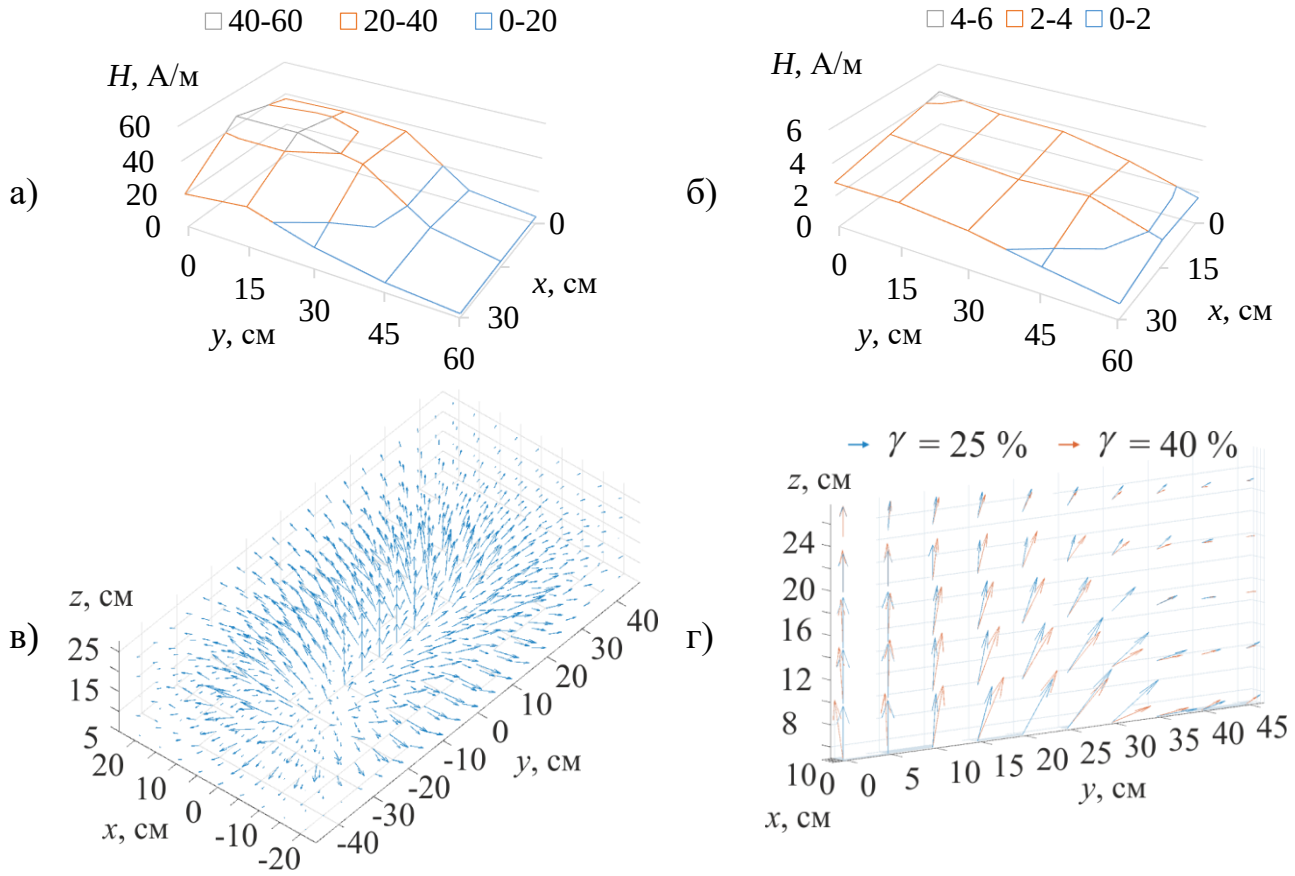


Рис. 2. Зависимость η от U_{DC1}: а) при активной нагрузке; б) при заряде аккумулятора

В целом результаты первого и второго этапов испытания прототипа системы беспроводного заряда аккумуляторов для электротележки

ЕТ-20132 показали с одной стороны энергетическую эффективность, достаточную для ее практического применения, а с другой стороны продемонстрировали желательность ее дальнейшего совершенствования.

Третий этап испытаний проводился с целью оценить воздействие системы на персонал. Для этого были выполнены замеры параметров электрического и магнитного полей. Поскольку непосредственно в области беспроводной передачи энергии между передающей и принимающей катушками нахождение персонала не предполагается, но поля от катушек распределены в пространстве, замеры производились в плоскости поверхности катушек, z = 0 см, а также в удалении от них по вертикальной оси на z = 15 см, z = 30 см и z = 45 см. Исследования проводились для разных значений скважности выходного напряжения инвертора. Полученные результаты показаны на рис. 3, где, если не указано отдельно, скважность составляет γ = 25 %, а за ноль по осям x и y принят центр катушки.



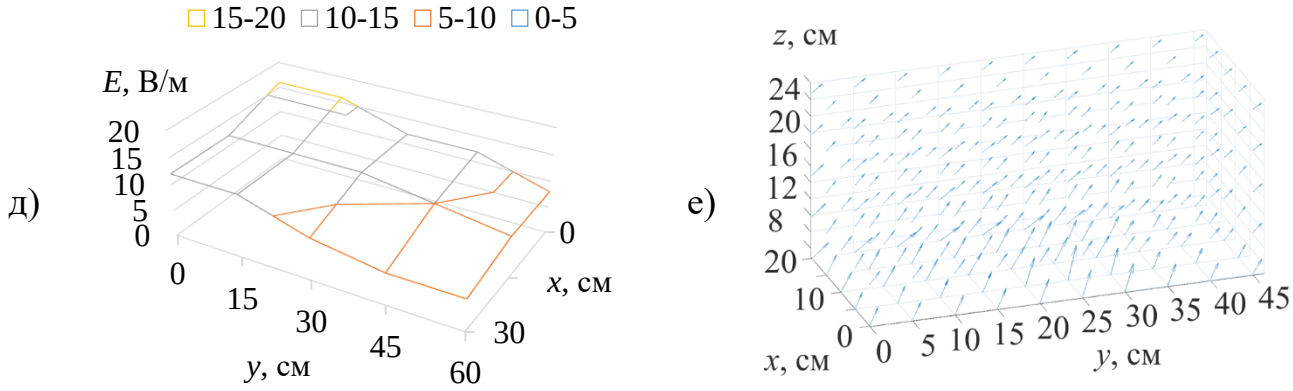


Рис. 3. Замеры: а) напряженность магнитного поля *H* при *z* = 0 см; б) *H* при *z* = 45 см; в) пространственное распределение *H*; г) *H* для разных значений скважности; д) напряженность электрического поля *E* при *z* = 45 см; е) пространственное распределение *E*

Анализируя полученные на третьем этапе результаты можно сделать вывод, что наибольшие значения напряженности и индукции магнитного поля, а также напряженности электрического поля наблюдаются в плоскости поверхности катушек, достигая максимума в ее геометрическом центре, однако на расстоянии уже в 15 см интенсивность поля падает в разы и при дальнейшем увеличении расстояния от краев катушек стремиться практически к нулю. Таким образом, рассмотренный прототип системы беспроводного заряда аккумуляторов для электротележки ЕТ-20132 можно расценивать безопасным для персонала.

Список литературы:

1. «Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года», утв. Председателем Правительства РФ, 2013 г.

2. Vilathgamuwa D.M. Wireless power transfer (WPT) for electric vehicles (EVs) – Present and future trends / D.M. Vilathgamuwa and J. P. K. Sampath // Plug in Electric Vehicles in Smart Grids: Integration Techniques / Edited by S. Rajakaruna, F. Shahnia and A. Ghosh. – Singapore: Springer, 2015. – P. 33-60.

3. SAE J2954 Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment Methodology, Issued 2016-05-26, Revised 2019-04-23.

4. Семыкина И.Ю. Выбор выходного фильтра беспроводной зарядной станции для электротележки / И.Ю.Семыкина, В.М. Завьялов, С.А. Абейдулин, // Сборник материалов V всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика», 16-17 декабря 2020. – Кемерово: КузГТУ, 2021, С. 411 1-6.

5. Zavylov V. M. Criteria for Choosing of Resonant Circuit Parameters of Wireless Power Transfer Charging System / V. M. Zavylov, I. Y. Semykina, S.

A. Abeidulin, E. A. Dubkov, and A. S. Veliliaev // Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. – 2022. – Vol. 18. – Iss. 1. – P. 2236-2236. – DOI: 10.22068/IJEEE.18.1.2236.

Информация об авторах:

Завьялов Валерий Михайлович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электроэнергетические системы атомных станций», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33, vmzavyalov@sevsu.ru

Дубков Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетические системы атомных станций», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33, eadubkov@sevsu.ru

Велиляев Амет-Хан Станиславович, инженер кафедры «Электроэнергетические системы атомных станций», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33, asvelilyaev@sevsu.ru

Семыкина Ирина Юрьевна, д.т.н., доцент, директор учебно-научного центра информационных технологий обучения, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33, arinasemykina@gmail.com