

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКБ В КАЧЕСТВЕ ХРАНИЛИЩА ЭНЕРГИИ

Евгений Александрович Извеков

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Обоснована целесообразность вторичного использования отработавших аккумуляторных батарей электромобилей в качестве стационарных хранилищ энергии, что может оказать положительное влияние на работу энергосистемы, так как позволит выровнять график потребления электроэнергии, а также стоимость электроэнергии для конечного потребителя. Использование хранилищ энергии дает возможность потребителю круглые сутки получать энергию по ночному тарифу, когда стоимость электроэнергии минимальна. Рассмотрены существующие тарифы на электроэнергию и интервалы тарифных зон в Воронежской области. Предложена структурная схема взаимодействия хранилищ энергии и электросети в различные интервалы тарифных зон. Приведены выражения, описывающие зависимость убыли емкости батареи от срока ее эксплуатации. Получены выражения, позволяющие рассчитать экономию средств за год и за весь срок эксплуатации батареи. Расчет показал, что в условиях Воронежской области использование одной АКБ емкостью 24 кВт·ч даст экономию средств по статье «Оплата электроэнергии» для городских потребителей 20 060 руб./год, для потребителей в сельской местности – 14 016 руб./год, в расчете на весь срок эксплуатации батареи – соответственно 219,5 и 153,3 тыс. руб. Установлено, что применение отработавших аккумуляторных батарей в качестве хранилищ энергии поможет сэкономить денежные средства, сравнимые по объемам со стоимостью новой АКБ. Доказано, что накопление энергии – это технология, которая позволит разделить потребление и генерацию электроэнергии, что приведет к изменению всей системы диспетчеризации и управления энергосистемой. Предположено, что если к предлагаемой технологии накопления энергии в хранилищах разработать соответствующую IT-логистику, то это приведет к преобразованиям энергетической отрасли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромобиль, аккумуляторная батарея, вторичное использование, хранилище энергии, энергосистема.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF SECONDARY USE OF ACCUMULATOR BATTERIES AS POWER BANKS

Evgeni A. Izvekov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The author substantiates the reasonability of secondary use of used electric vehicle batteries as stationary power banks. It is revealed that the use of used electric vehicle batteries as stationary power banks can positively influence the operation of the power system, since it will allow equalizing the schedule of electricity consumption, as well as the cost of electricity for end clients. The use of power banks enables the consumers to receive energy day and night at night tariffs, when the cost of electricity is minimal. The author considers the existing tariffs for electricity and tariff zone intervals in Voronezh Oblast and proposes a block diagram of the interactions between power banks and electrical network within different intervals of tariff zones. The author presents the expressions describing the dependence between the battery capacity decrease and its useful life and obtains the expressions to calculate the savings per year and per the entire useful life of the battery. The calculation shows that in Voronezh Oblast in terms of electricity costs the use of one 24 kWh battery would save 20 060 rubles/year for urban consumers and 14 016 rubles/year for rural consumers, or 219.5 and 153.3 thousand rubles, respectively, per the entire useful life of the battery. It is established that the use of used accumulator batteries as power banks might result in cost savings comparable to the cost of a new battery. It is proved that energy accumulation is a technology that will allow separating the consumption and generation of electricity, which will lead to changes in the entire system of dispatching and management of the energy network. It is assumed that if the proposed technology of energy accumulation in power banks is complemented with newly-developed appropriate IT-logistics, then the energy sector will undergo major changes.

KEY WORDS: electric vehicle, accumulator battery, secondary use, power bank, power system.

Мировые продажи легковых электромобилей и подключаемых гибридов в 2016 г. составили 774 тыс. штук с ростом в 42% к 2015 г. К началу 2017 г. общее количество электромобилей в мире превысило 2 миллиона. По статистике за 2016 г., наибольшее количество электромобилей было продано в Китае, США, Японии и Норвегии. Из всех стран мира наиболее высокий процент продаж электрического транспорта зафиксирован в Норвегии. 29% всех новых автомобилей в этой стране оборудованы электрическими силовыми установками. Существует устойчивое мнение, что в течение ближайших 10–15 лет глобальный рынок электромобилей завершит стадию начального развития и перейдет к этапу повсеместного распространения. По оценке экспертов, к 2025 г. по Земле будет ездить от 40 до 70 млн электрокаров [4].

Электромобили имеют известные преимущества перед автомобилями, оборудованными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Однако их распространение сдерживается из-за определенных недостатков, одним из которых является высокая стоимость, по большей части обусловленная высокой стоимостью аккумуляторной батареи. Так, стоимость литий-ионной аккумуляторной батареи емкостью 24 кВт·ч для Nissan Leaf, позволяющая ему иметь запас хода в 160 км, составляет 6500\$. Учитывая, что сам электромобиль стоит от 28 800\$, то удельная стоимость батареи составляет 22% от его стоимости. Отдельной статьей следует выделить расходы на утилизацию аккумуляторных батарей [3], которые заложены в стоимость электромобиля и составляют около 500 долларов за одну батарею [5].

Автомобильные аккумуляторные батареи способны эффективно работать в электромобиле до тех пор, пока их емкость не снизится до 70–75% от номинальной. Отправлять на переработку столь дорогие источники энергии с таким остаточным потенциалом слишком расточительно. Им можно найти полезное применение. Изношенные батареи можно использовать как хранилища энергии, формировать из них так называемые аккумуляторные парки – стационарные хранилища энергии. Здесь они будут работать, пока емкость каждой не снизится до 10% от номинальной. Отслужившие свое батареи можно либо отправлять в централизованный аккумуляторный парк, либо оставить у себя дома, используя как источник резервного питания или резервуар для более дешевой энергии [8].

Для интегрирования аккумуляторной батареи в энергосистему потребуются инвертор, выпрямитель и интеллектуальный блок управления. Батареи в хранилищах можно заряжать либо от возобновляемых источников (ветряки, солнечные панели и т.п.), либо из обычных сетей. В последнем случае это будет «дешевое» электричество, которое электростанции дают во время спадов потребления электроэнергии (например, ночью).

Хранилища энергии особенно пригодятся в случае аварий в энергосистемах, при возникновении чрезвычайной ситуации, сопровождающейся отключением электроэнергии [6]. Полностью заряженной аккумуляторной батареи емкостью 24 кВт·ч будет достаточно для снабжения в течение четырех-пяти дней жилого дома площадью 100–150 м², в котором проживает семья из трех-четырех человек (разумеется, при условии экономного потребления) [7].

Попробуем обосновать расчетом экономическую целесообразность применения технологии хранения энергии в условиях Воронежской области.

Энергосистема РФ работает таким образом, что объемы потребления и выработки электроэнергии сбалансированы, а электростанции подстраиваются под график потребителя. Поскольку нагрузка в энергосистеме изменяется в соответствии с суточным графиком потребления, то электростанции в течение суток не могут быть загружены одинаково. В режиме максимальных нагрузок в работу включаются как экономичные,

так и неэкономичные электростанции, а в режимах немаксимальных нагрузок появляется возможность отключать неэкономичные станции и держать их в резерве. Поэтому в режимах максимальных нагрузок стоимость выработанной электроэнергии выше, чем стоимость электроэнергии, выработанной при средних и минимальных нагрузках [1].

С учетом этого явления разработана и активно внедряется многотарифная система учета потребляемой электроэнергии.

Многотарифная система учета электроэнергии подразумевает, что сутки разбиваются на тарифные периоды – временные интервалы. В каждом тарифном периоде электроэнергия имеет различную стоимость. В часы максимальной загрузки энергосистемы стоимость 1 кВт·ч наибольшая, при минимальной нагрузке – соответственно наименьшая. Такая экономическая мера стимулирует потребление электроэнергии пользователями в часы минимальных нагрузок и, как следствие, обеспечивает более равномерную загрузку энергосистемы в течение суток.

Использование хранилищ энергии в условиях многотарифной системы учета электроэнергии положительно отразится на работе энергосистемы, так как позволит выровнять суточный график потребления электроэнергии, а также снизить стоимость электроэнергии для конечного потребителя. Технология хранения энергии позволит потребителю круглые сутки получать энергию по минимальному ночному тарифу, следовательно, выгода очевидна.

В таблице 1 представлены тарифы на электроэнергию для населения для разных зон суток, установленные приказом УРТ Воронежской области от 19 декабря 2016 г. № 58/1 [9].

Таблица 1. Тарифы на электроэнергию

№ п/п	Показатель	Цена, руб./кВт·ч
1	Население и приравненные к нему категории, за исключением населения и потребителей, указанных в пункте 2:	
1.1	Одноставочный тариф	3,53
1.2	Тариф, дифференцированный по двум зонам суток	
	Дневная зона (пиковая + полупиковая)	4,06
	Ночная зона	2,29
1.3	Тариф, дифференцированный по трем зонам суток	
	Пиковая зона	4,58
	Полупиковая зона	3,53
	Ночная зона	2,29
2	Население, проживающее в сельских населенных пунктах, а также население, проживающее в городских населенных пунктах в домах, оборудованных в установленном порядке стационарными электроплитами и (или) электроотопительными установками, и приравненные к ним:	
2.1	Одноставочный тариф	2,47
2.2	Тариф, дифференцированный по двум зонам суток	
	Дневная зона (пиковая + полупиковая)	2,84
	Ночная зона	1,61
2.3	Тариф, дифференцированный по трем зонам суток	
	Пиковая зона	3,21
	Полупиковая зона	2,47
	Ночная зона	1,61

Следует отметить, что для упрощения расчетов в таблице 1 представлены значительно усредненные цены. В течение суток есть периоды, когда энергия стоит еще меньше, поэтому применение более дифференцированного тарифного плана позволит выделить зону с наименьшей стоимостью электроэнергии. Если производить зарядку хранилищ именно в этот период, то можно получить наибольшие экономические выгоды как для потребителя, так и для производителя электроэнергии.

Хранение энергии будет экономически эффективным только при многотарифном учете потребления энергии. Очевидно, что наибольшая выгода будет при многоставочном тарифе, когда разница в цене на электроэнергию максимальная.

Чтобы узнать, есть ли смысл использовать хранилища энергии, необходимо построить годовой график потребления, фиксируя показания электрического счетчика в 23:00 и в 7:00 для двухтарифного учета электроэнергии и в 7:00, 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 и 23:00 – для трехтарифного. Моменты фиксации показаний счетчика будут различны для разных месяцев и должны соответствовать интервалам тарифных зон суток, утвержденным приказом федеральной антимонопольной службы [10] (табл. 2). Интервалы тарифных зон суток определены в астрономических часах по московскому времени. Длительность зоны суток исчисляется начиная с первой минуты часа, указанного в начале соответствующего интервала, и заканчивается по истечении последней минуты часа, предшествующего часу, указанному в конце интервала, при этом полупиковая зона – остальное время, дневная зона – это время пиковой и полупиковой зон.

Таблица 2. Зоны суток для ОЭС Центра

Месяц года	Зона суток	
	Ночная	Пиковая
Январь	23:00–07:00	08:00–12:00; 16:00–20:00
Февраль	23:00–07:00	08:00–11:00; 17:00–21:00
Март	23:00–07:00	08:00–12:00; 18:00–21:00
Апрель	23:00–07:00	08:00–12:00; 19:00–21:00
Май	23:00–07:00	08:00–15:00
Июнь	23:00–07:00	09:00–15:00
Июль	23:00–07:00	09:00–15:00
Август	23:00–07:00	09:00–16:00
Сентябрь	23:00–07:00	08:00–11:00; 18:00–21:00
Октябрь	23:00–07:00	08:00–12:00; 17:00–20:00
Ноябрь	23:00–07:00	09:00–11:00; 16:00–20:00
Декабрь	23:00–07:00	09:00–11:00; 15:00–20:00

На основании этих данных можно рассчитать потребление по всем зонам и выяснить целесообразность применения хранилища энергии.

Также можно воспользоваться менее трудоемким способом и рассчитать эффект при условии максимума использования хранилища. Такая ситуация возможна, когда количество потребляемой пользователем электроэнергии значительно превышает емкость батареи, то есть батарея питает мощного потребителя преимущественно дневного потребления. Это может быть, например группа жилых домов, крупное промышленное предприятие и т.д. В течение пиковой зоны батарея полностью разряжается, а в течение ночной зоны – полностью заряжается (рис. 1).

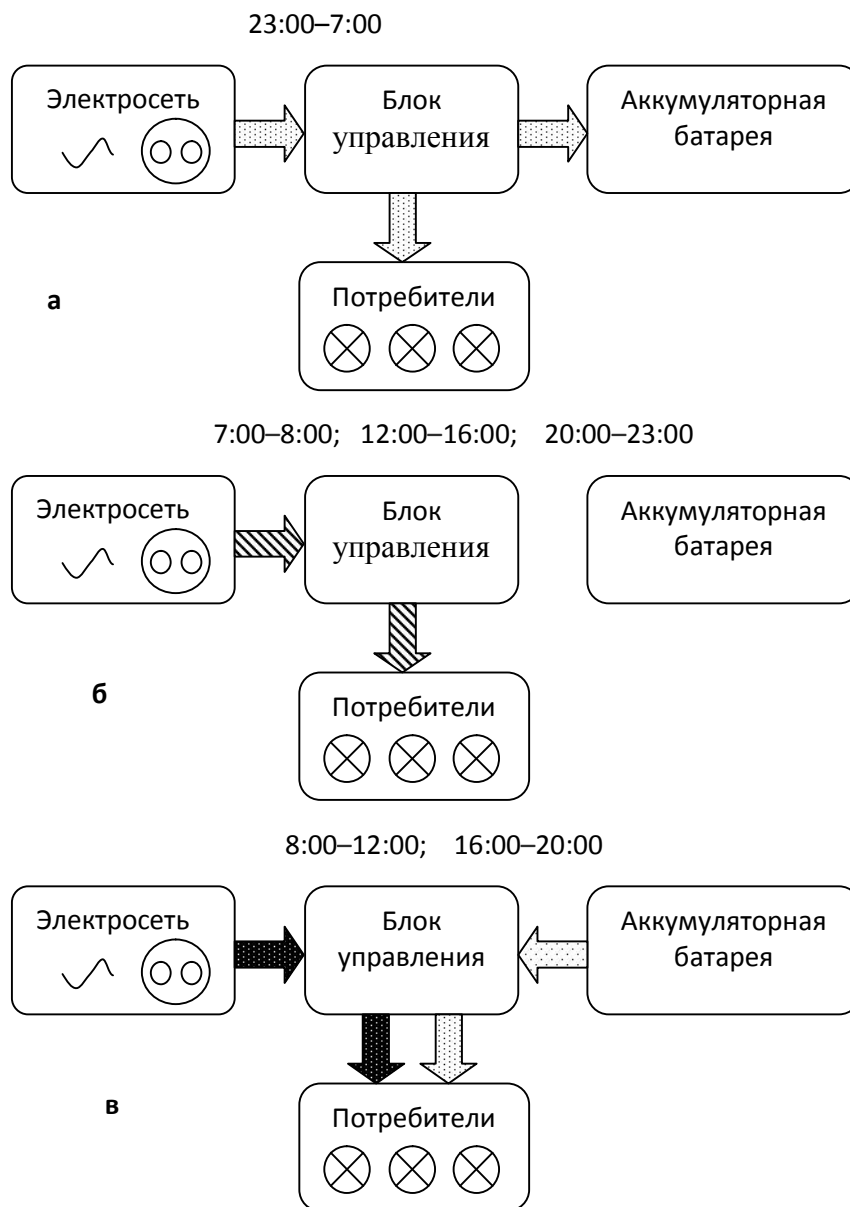





Рис. 1. Структурная схема работы хранилища энергии
 а – ночная зона; б – полупиковая зона; в – пиковая зона:

-  – электроэнергия по тарифу ночной зоны;
-  – электроэнергия по тарифу полупиковой зоны;
-  – электроэнергия по тарифу пиковой зоны

Эффект применения предлагаемой технологии можно определить по выражению

$$\mathcal{E} = (C_{п} - C_{н}) \cdot E \cdot t, \quad (1)$$

где \mathcal{E} – экономия денежных средств на оплату за электроэнергию, руб.;

$C_{п}$ – тариф пиковой зоны, руб./кВт·ч;

$C_{н}$ – тариф ночной зоны, руб./кВт·ч;

E – емкость аккумуляторной батареи, кВт·ч;

t – расчетный период, сут.

В данном расчете целесообразно использовать единицу измерения расчетного периода, равную одним суткам, так как цикл заряда – разряда будет происходить в течение одних суток.

Для городских потребителей в расчете на один год экономия средств составит

$$\mathcal{E} = (4,58 - 2,29) \cdot 24 \cdot 365 = 20\,060 \text{ руб./год,}$$

для потребителей в сельской местности

$$\mathcal{E} = (3,21 - 1,61) \cdot 24 \cdot 365 = 14\,016 \text{ руб./год.}$$

Опыт компании Nissan свидетельствует о том, что срок полезной эксплуатации аккумуляторных батарей электромобилей гораздо больше, чем кажется на первый взгляд. Так, например, гарантийный срок службы батареи хэтчбека Leaf составляет восемь лет, расчетный – длиннее на 2–4 года. Еще за 8–10 лет послеавтомобильной службы емкость падает до 50%, а общий срок службы аккумуляторной батареи может составить 30–35 лет [7].

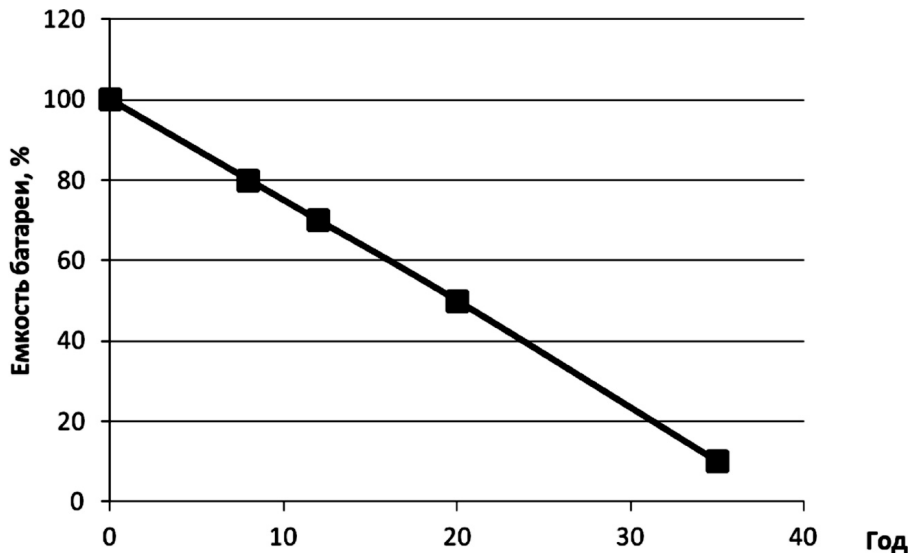


Рис. 2. График снижения емкости аккумуляторной батареи с увеличением срока эксплуатации

Если представить зависимость убыли емкости батареи от срока эксплуатации прямолинейной зависимостью [2], то ее можно описать формулой

$$E_6 = E_n \cdot (1 - k \cdot t), \quad (2)$$

где E_6 – фактическая емкость батареи, кВт·ч;

E_n – номинальная (паспортная) емкость батареи, кВт·ч;

k – коэффициент пропорциональности, $k \approx 6,85 \cdot 10^{-5}$;

t – время эксплуатации, сут.

Подставляя (1) в (2), получим выражение для расчета экономии средств на оплату электроэнергии за весь срок эксплуатации хранилища энергии

$$\mathcal{E} = (C_d - C_b) E_n \sum_{t_n}^{t_k} (1 - k \cdot t), \quad (3)$$

где t_n – период времени от начала использования аккумуляторной батареи до снятия ее с автомобиля и начала использования ее как хранилища энергии, $t_n = 10 \text{ лет} \times 365 \text{ суток} = 3650 \text{ суток}$;

t_k – наработка аккумуляторной батареи от начала эксплуатации до окончания использования как хранилища энергии (снижение остаточной емкости до величины менее 10% от номинальной), $t_k = 35 \text{ лет} \times 365 \text{ суток} = 12\,780 \text{ суток}$.

Для городских потребителей в расчете на весь срок эксплуатации

$$\mathcal{E} = (4,58 - 2,29) \cdot 24 \cdot \sum_{i=3650}^{12780} (1 - 6,85 \cdot 10^{-5} \cdot t_i) = 219,5 \text{ тыс. руб.}$$

Для сельских потребителей

$$\Xi = (3,21 - 1,61)24 \sum_{i=3650}^{12780} (1 - 6,85 \cdot 10^{-5} \cdot t_i) = 153,3 \text{ тыс. руб.}$$

Расчет показывает, что применение отработанных аккумуляторных батарей в качестве хранилищ энергии может дать экономию денежных средств, сравнимую со стоимостью новой аккумуляторной батареи. Следовательно, эта идея будет активно прорабатываться и внедряться в жизнь.

По мере увеличения количества электромобилей в России и в мире в целом будет увеличиваться и количество отработанных аккумуляторных батарей, следовательно, и емкость одновременно используемых хранилищ энергии. В будущем они будут оказывать все более значительное положительное влияние на работу энергосистемы.

Применение хранилищ энергии позволит преобразовать базовый технологический принцип работы энергосистемы – соответствие уровня потребления и генерации в единый момент времени. Накопление энергии – это прорывная технология, которая позволит разделить потребление и генерацию электроэнергии. Применение этой технологии потребует изменения всей системы диспетчеризации и управления энергосистемой. Если к технологии накопления энергии в хранилищах добавить соответствующую IT-логистику, то это приведет к революционному преобразованию энергетики.

Библиографический список

1. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – 2-е изд. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. – 720 с.
2. Извеков Е.А. Построение модели технического средства как источника отходов в период его эксплуатации / Е.А. Извеков, Е.А. Мамонтов // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124, № 1. – С. 78–85.
3. Извеков Е.А. Предпосылки создания информационной системы текущего учета оборота отходов в Воронежской области / Е.А. Извеков, В.К. Астанин // Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК : межвузовский сб. науч. тр. – Воронеж : ВГАУ, 2014. – С. 189–196.
4. Количество электромобилей в мире перевалило за 2 миллиона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://auto.onliner.by/2017/06/09/ev-3> (дата обращения: 11.11.2017).
5. Nissan объявил стоимость замены батареи в Nissan Leaf [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zilm.livejournal.com/327040.html> (дата обращения: 11.11.2017).
6. Копилки для энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peretok.ru/articles/innovations/14243/> (дата обращения: 11.11.2017).
7. Милешкин К. Nissan и будущее электромобилей / К. Милешкин // За рулем. – 2016. – № 6. – С. 102–103.
8. Милешкин К. Электрические технологии Audi / К. Милешкин // За рулем. – 2016. – № 1. – С. 94–95.
9. Об установлении тарифов на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий потребителей по Воронежской области на 2017 год : Приказ Управления по государственному регулированию тарифов Воронежской области от 19 декабря 2016 г. № 58/1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/445047916> (дата обращения: 11.11.2017).
10. Об утверждении интервалов тарифных зон суток для потребителей на 2017 год (за исключением населения и (или) приравненных к нему категорий) : Приказ федеральной антимонопольной службы от 26 декабря 2016 г. № 1868/16 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/71580474/#ixzz56JDvmXvo> (дата обращения: 11.11.2017).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Принадлежность к организации

Евгений Александрович Извеков – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-75-35, E-mail: izvek@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 17.11.2017

Дата принятия к печати 20.12.2017

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Evgeni A. Izvekov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-75-35, E-mail: izvek@yandex.ru.

Date of receipt 17.11.2017

Date of admittance 20.12.2017