

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 628.81

**АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент<sup>1</sup>

E-mail: asa-finance@yandex.ru

**ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: energo-viz@mail.ru

**МАТВЕЕВ АНДРИС ИЛМАРОВИЧ**

E-mail: anddris@bk.ru

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## АВТОНОМНОЕ ПИТАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ПЕРЕДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

При разработке систем автоматического управления сельскохозяйственного назначения часто возникают проблемы с проектированием протяженных линий связи датчиков с управляющим процессором. Применение проводных линий связи определяет ряд сложностей, связанных с большими капиталовложениями и повышенным риском возникновения аварийных ситуаций. Эффективное решение проблемы может быть достигнуто за счет использования беспроводных линий для связи датчиков с управляющим процессором. В качестве беспроводных линий целесообразно использовать каналы радиосвязи. В то же время использование радиосвязи требует наличие источника энергии у каждого датчика. Для энергообеспечения параметрических датчиков и устройств передачи данных (объединяемых под понятием измерительно-передающих устройств) целесообразно применять энергию электромагнитного поля промышленного происхождения: сигналы мощных радиостанций, электромагнитный фон линий электропередач, систем навигации и прочих излучателей. Показано, что величина энергии, наводимой в антенне приемного устройства, не зависит от характеристик и размеров антенны, но сильно зависит от напряженности электрической составляющей поля и от длины волны. Приведена оценка мощности электрической энергии, получаемой в результате преобразования энергии электромагнитного фона промышленного района от линий электропередач напряжением 220 В при частоте 50 Гц, а также сигналов местной радиостанции с несущей частотой 1370 МГц. Изложена информация о передовых достижениях в области использования электромагнитной энергии промышленного происхождения для питания слаботочных электронных приборов. Приведена принципиальная электрическая схема автономного блока питания, рассчитанного на энергообеспечение измерительно-передающих устройств в системах коммерческого учета воды и контроля расхода воды в системах орошения.

**Ключевые слова:** датчики систем автоматического управления, беспроводные линии связи, энергия электромагнитного поля производственного происхождения, преобразование электромагнитной энергии.

Одна из важных особенностей автоматизации сельскохозяйственного производства заключается в значительной пространственной рассредоточенности объектов управления. Для качественного управления технологическими процессами управляющий процессор должен располагать достаточно точной информацией об их состоянии. Получение

этой информации осуществляется с помощью разнообразных датчиков. Это могут быть датчики температуры, влажности, давления, усилий, перемещений и других физических величин [1]. Поскольку управляющие процессоры обычно находятся на значительном удалении от датчиков, перед проектировщиками систем автоматического управления

встает вопрос о разработке надежных линий связи. Сложность этой задачи заключается в том, что в пределах одной системы одновременно могут использоваться десятки, а то и сотни разнообразных датчиков.

Принимая во внимание особенности связи на разных частотах в пределах радиодиапазона (соотношение мощности передатчика и расстояния надежной связи, проявление дифракционных свойств, габариты антенны и т.д.), предпочтение обычно отдается частотам в интервале от 30 до 3000 МГц. Примечательно, что внутри этого интервала находится и частота стандарта Wi-Fi, позволяющего осуществлять низкоуровневую беспроводную связь объектов с сетью интернета.

Датчики обычно комплектуются передатчиками информационных сигналов, а управляющие процессоры – приемниками. При осуществлении синхронизации работы приемник и передатчик могут меняться местами. Как прием, так и передача сигнала требуют затрат энергии внешнего источника. И если на стороне приемника (в стационарных условиях) это обстоятельство сложностей не вызывает, то для передатчиков представляет проблему. Большая часть современных датчиков является параметрическими устройствами, также нуждающимися в питании. Оснащение измерительно-передающих устройств химическими источниками электрической энергии означает, что они потребуют периодического обслуживания. Это обслуживание будет заключаться либо в зарядке, либо в замене источника питания. При большом количестве измерительно-передающих устройств техническое обслуживание становится достаточно неудобным и дорогостоящим мероприятием. Поэтому задача перевода измерительно-передающих устройств на необслуживаемое автономное питание является актуальной.

**Цель исследований** – возможность перевода измерительно-передающих устройств на необслуживаемое автономное питание, техническая реализация способа автономного энергообеспечения измерительно-передающих устройств.

**Материалы и методы.** Использование природных возобновляемых источников энергии для питания измерительно-передающих устройств в большинстве случаев нецелесообразно. Исключение составляют случаи когда эти устройства эксплуатируются в условиях значительной и длительной солнечной радиации или на границе разнотемпературных сред. В первом варианте возможно применение фотоэлектрических, а во втором варианте – термоэлектрических преобразователей.

Весьма перспективный способ организации питания измерительно-передающих устройств заключается в преобразовании рассеянной электромагнитной энергии промышленного происхождения. Существуют всевозможные радиопередающие устройства, работающие в диапазоне от миллиметровых до километровых волн. Многие из этих устройств работают постоянно или по заранее из-

вестной программе. При всех видах принятой модуляции излучаемая энергия представляет собой совокупность несущей волны и информационного сигнала. Эту энергию, называемую также электромагнитным фоном, вполне можно использовать для питания измерительно-передающих устройств или для подзарядки химических источников.

**Результаты и обсуждение.** Значительная часть энергии электромагнитного фона распространяется в диапазонах длинных и средних волн. Кроме того, в диапазоне сверхдлинных волн оказывается и электромагнитная энергия, излучаемая линиями электропередач. При частоте переменного тока 50 Гц длина волны излучаемой энергии составляет примерно 6 000 км. При таких длинах волн грунт, водоемы и другие объекты обладают свойствами проводников, что определяет превышение токов проводимости над токами смещения. Вследствие этого у поверхности земли электромагнитные волны с горизонтальной поляризацией существенно ослабевают.

Принимая во внимание длинноволновый характер электромагнитного фона, произведем энергетическую оценку преобразования волн с вертикальной поляризацией. Известно, что ЭДС, наводимая электромагнитным полем в антенне, может быть определена по формуле:  $e = E \cdot h$ , где  $E$  – напряженность поля в точке приема;  $h$  – действующая высота антенны. Однако при питании измерительно-передающих устройств следует максимизировать не ЭДС, а мощность принимаемого сигнала. Для оценки этой мощности примем во внимание входное сопротивление нагрузки  $R_{вх}$ . Поскольку мощность сигнала определяется как  $P = U \cdot I$ , где  $U$  – подводимое к нагрузке напряжение и  $I$  – протекающий через нее ток, а входное сопротивление можно представить отношением  $R_{вх} = U/I$ , то максимизировать мощность можно изменением входного сопротивления, выбирая различные схемы согласования с антенной. С другой стороны, антенна отдает в нагрузку максимальную мощность в случае, когда выполняется условие  $R_a = R_{вх}$ , где  $R_a$  – активное сопротивление антенны, а ее реактивное сопротивление скомпенсировано реактивным сопротивлением другого знака.

На рисунке 1 представлен эскиз вертикальной антенны с заземлением. Резонансная волна соответствует той частоте, при которой сопротивление на разьеме ХТ1 активно и равно сопротивлению четвертьволнового несимметричного вибратора, т.е. величине 37 Ом. Поэтому собственная (резонансная) длина волны, излучаемой антенной, может быть определена как  $\lambda_0 = 4LA$ , а действующая высота – как  $h = 2LA/\pi$ . С целью уменьшения габаритов четвертьволновую вертикальную антенну обычно заменяют на Г-образную (рис. 1б) или Т-образную (рис. 1в). Длина горизонтальных участков Г-образной или Т-образной антенн составляет величину  $LG$ . У этих антенн резонансная длина волны определяется в соответствии с простой зависимостью:  $\lambda_0 = K \cdot LA$ , где  $LA = h + LG$ , а коэффициент

$K$  принимает значения от 4,5 до 10, исходя из следующих условий:  $K = 4,5$  для Г-образной антенны при  $LГ < h$ ,  $K = 6$  для Г-образной антенны при  $LГ > h$  и  $K = 10$  для Т-образной антенны при  $LГ > h$ .

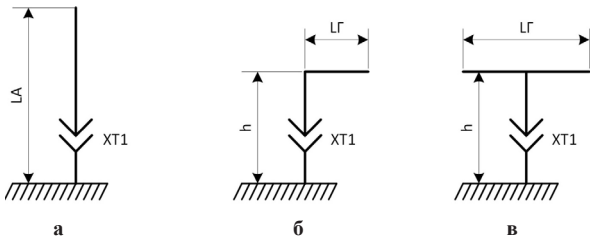


Рис. 1. Эскиз вертикальной антенны с заземлением

В процессе приема радиоволн принимает участие только вертикальный участок антенны. Горизонтальный участок выполняет функцию емкостной нагрузки, увеличивая собственную длину ее волны и действующую высоту. При этом с увеличением горизонтального участка эффективность антенны увеличивается.

В большинстве случаев антенна принимает радиосигналы, длина волны которых больше ее собственной длины волны:  $\lambda > \lambda_0$ , а ее сопротивление является комплексным ( $Z_a = R + jX$ ), т.е. содержит активную ( $R$ ) и реактивную ( $X$ ) части:  $R = 1600 \left(\frac{h_a}{\lambda}\right)^2$ ,  $X = W \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi \lambda_0}{\lambda}\right)$ , где  $W$  – волновое сопротивление провода антенны,  $W = 450 \dots 550$  Ом.

Для компенсации емкостного сопротивления антенны в ее цепь включают индуктивность (удлиняющую катушку) и эквивалентная схема антенны приобретает вид, представленный на рисунке 2.

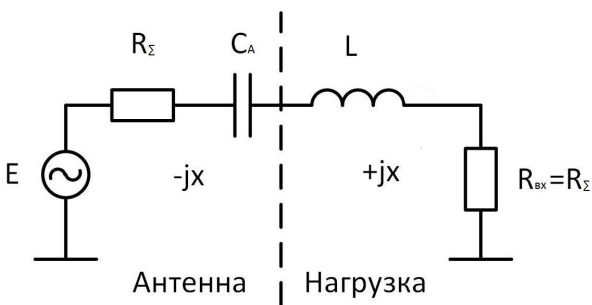


Рис. 2. Эквивалентная схема антенны с удлиняющей катушкой индуктивности

Подсчитаем электрическую мощность, передаваемую антенной в нагрузку без учета потерь. При равенстве входного сопротивления нагрузки и активной составляющей сопротивления антенны

$R_{вк} = R_a$  передаваемая мощность будет максимальной и равна

$$P_0 = (C/2)^2 / R.$$

Подставляя в эту формулу выражения для  $C$  и  $R$ , получим:

$$P_0 = \frac{E^2 h_d^2 \lambda^2}{4 \cdot 1600 \cdot h_d^2} = \frac{E^2 \lambda^2}{6400}.$$

Из последнего выражения следует, что преобразованная энергия электромагнитного фона сильно зависит от напряженности поля и длины волны. В то же время эта энергия не зависит от размеров и конструкции антенны. В качестве примера рассчитаем мощность, которая может навестись в антенне электромагнитным фоном на частоте 50 Гц при напряженности электрической составляющей 0,01187 мВ/м, характерной для промышленного района:

$$P_0 = \frac{0,01187^2 \cdot 6 \cdot 10^{12}}{6400} = 0,79 \text{ Вт.}$$

Полученная мощность вполне достаточна для питания широкого класса современных электронных устройств. Максимальные затраты энергии при работе измерительно-передающих устройств будут приходиться на передачу данных. Для существенного снижения этих затрат можно предусмотреть периодическую работу измерительно-передающих устройств в режиме передачи. Периодическое включение функции передачи оказывается возможным вследствие большой инерционности объектов управления, а также возможности накопления и предварительной обработки результатов измерения.

Напряженность фона частотой 50 Гц в реальных условиях будет значительно выше. Даже в жилых помещениях обычная электропроводка на напряжение 220 В, проложенная по стенам на расстоянии 6 м друг от друга, формирует поле напряженностью порядка 10...300 В/м. Электрическое поле с еще большей напряженностью создают электробытовые приборы. При этом уровень излучения изменяется в широких пределах в зависимости от вида устройства, его модели, режима работы, от потребляемой мощности прибора. Напряженность электрического поля вблизи электробытовых приборов может достигать сотен В/м. Электромагнитный фон сверхнизкой частоты вполне может быть использован, например, для питания датчиков пожарно-охранной сигнализации, устанавливаемых в жилых и производственных помещениях.

Интересна оценка мощности, наводимой в антенне сигналами местных радиостанций длинноволнового и средневолнового диапазонов. В качестве примера определим значение мощности для фона с длиной волны 1 753 м. В этом случае средняя напряженность поля в зоне уверенного приема со-

ставляет 20 мВ/м. Тогда мощность сигнала в антенне окажется равной 0,19 Вт, чего также достаточно для питания слаботочной электронной аппаратуры. Практическое использование энергии электромагнитного фона началось еще в начале 60-х гг. XX в. [2–5]. За прошедшие десятилетия уровень электромагнитного фона в местах обитания людей вырос в несколько раз. При этом произошло заметное смещение максимума излучения в область более коротких волн [6].

Заметно возрос интерес к практическому использованию электромагнитного фона искусственного происхождения. Известны исследования по использованию рассеянной энергии для питания мобильного оборудования в системах бесконтактных платежей [7]. Разработанные миниатюрные устройства позволяют осуществлять переводы виртуальных денежных средств при полном отсутствии аккумуляторов или внешних источников питания. При этом все встроенные светодиоды, сенсоры, микроконтроллеры и блоки связи функционируют за счет энергии местных телевизионных станций.

Интересны исследования корпорации Powercast, которая еще в 2010 г. выпустила приемник P2110B Powerharvester Receiver, способный собирать направленную и рассеянную электромагнитную энергию и преобразовывать ее в постоянное напряжение. Полученная энергия обеспечивает подзарядку аккумуляторных батарей для питания слаботочной радиоаппаратуры. По заявлениям разработчика приемник генерирует напряжение 5,2 В и обеспечивает ток порядка 50 мА [8].

Разработана и запатентована электронная схема блока автономного питания (рис. 3) измерительно-передающих устройств для работы в составе автоматизированной системы коммерческого учета воды [9, 10], а также для контроля расхода воды в системах орошения [11].

Блок автономного питания содержит антенну 1, колебательный контур 2, выпрямитель 3 и стабили-

затор 4 напряжения. Антенна 1 через колебательный контур 2 подсоединена ко входу выпрямителя 3. Колебательный контур 2 образован совокупностью емкостей параллельно соединенных конденсаторов C1 и C2 и катушки индуктивности L1. В разработанной конструкции использована однополупериодная схема выпрямителя 3 на диодах Шотки VD1 и VD2. Выход выпрямителя 3 через стабилизатор 4 напряжения подключен к нагрузке, которой является химический источник электрической энергии. Стабилизатор 4 напряжения включает в себя стабилитрон VD3, компенсационную схему на полупроводниковых триодах VT1 и VT2 и сглаживающий конденсатор C5.

В разработанной конструкции использовался электромагнитный фон промышленного происхождения, создаваемый местной радиостанцией средневолнового диапазона (несущая частота 1370 МГц). При этом вид модуляции принципиального значения не имел.

Электромагнитный фон промышленного происхождения воспринимается антенной 1. В колебательном контуре 2 возникает явление резонанса, и на его выходе появляется переменное электрическое напряжение. Это электрическое напряжение поступает на выпрямитель 3, где происходит его выпрямление (детектирование).

Электрическое напряжение, образуемое в колебательном контуре 2, имеет некоторый постоянный уровень  $U_0$ , на который наложены колебания звуковой частоты с амплитудой  $U_m$ . Отношение  $U_m/U_0$  соответствует коэффициенту модуляции сигнала  $m$ . Известно, что мощность в цепи постоянного тока находится как  $U_0^2/U_0$ , а мощность переменной составляющей – как  $U_m^2/2R$ . Поэтому мощность колебаний звуковой частоты составляет лишь  $m^2/2$  от мощности постоянного тока в нагрузке детектора. Это соответствует и отношению мощности боковых полос к мощности несущей в спектре амплитудной модуляции сигнала. Коэффициент модуляции в современных радиостанциях редко достигает

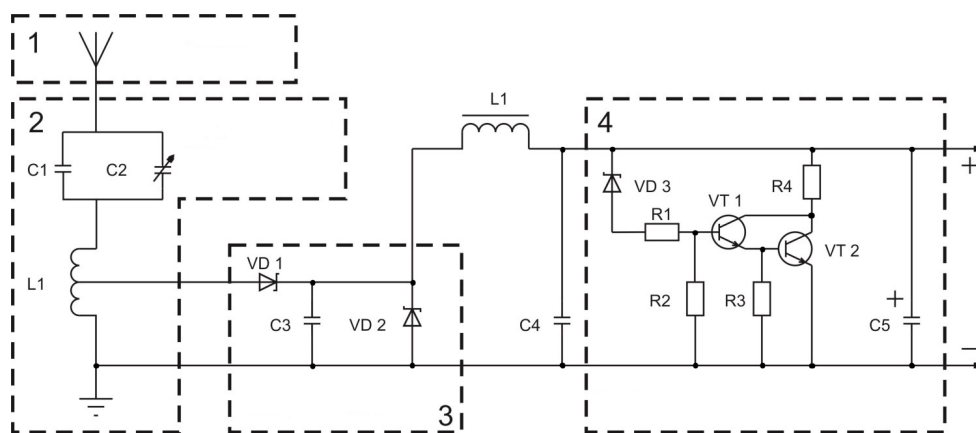


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема блока автономного питания измерительно-передающих устройств

единицы, а за счет тихих звуков и пауз он практически составляет существенно меньшую величину. Даже при среднем коэффициенте модуляции 30% ( $m = 0,3$ ), нормированном ГОСТ, мощность протектированного сигнала звуковой частоты составляет всего 4,5% от мощности протектированной несущей. Следовательно, при наличии электромагнитного фона промышленного происхождения на выходе выпрямителя 3 будет концентрироваться электрическая энергия, которую можно использовать для питания измерительно-передающих устройств.

Постоянное напряжение с выхода выпрямителя 3 поступает на стабилизатор 4 напряжения, в котором осуществляется его поддержание на заданном уровне, а также защита химического источника энергии от перезарядки. При напряжении на нагрузке установленного значения ток через стабилитрон VD3 не протекает, и поэтому полупроводниковые триоды VT1 и VT2 остаются в закрытом состоянии. При увеличении напряжения сверх установленного значения они открываются, и резистор R4 шунтирует выход стабилизатора 4 напряжения.

#### Выводы

1. Питание измерительно-передающих устройств в системах автоматического управления сельскохозяйственного назначения целесообразно осуществлять автономно.

2. Для автономного питания слаботочных электронных приборов может быть использован рассеянная электромагнитная энергия промышленного происхождения.

3. Электрическая мощность, наводимая в антенне энергией электромагнитного фона, зависит не от размеров антенны, а от электрической напряженности и длины волны.

4. Техническая реализация способа автономного энергообеспечения измерительно-передающих устройств может быть осуществлена с помощью блока питания, содержащего антенну, колебательный контур, выпрямитель и стабилизатор напряжения.

#### Библиографический список

1. Иванов Ю.Г. Влияние параметров воздушной среды коровника на физиологические показатели животных / Ю.Г. Иванов, Д.А. Понизовкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 5. С. 30–31.
2. Транзисторные приемники без источников питания // Радио. 1962. № 6. С. 53.
3. О питании радиоприемников «свободной энергией» // Радио. 1997. № 1. С. 22–23.
4. Громкоговорящий приемник с мостовым усилителем и питанием свободной энергией // Радио. 2001. № 12. С. 12–13.
5. Простой усилитель для приемника с питанием свободной энергией // Радио. 2002. № 6. С. 55–56.
6. Андреев С.А. Определение устойчивости УКВ-радиосвязи на ЭВМ / С.А. Андреев, В.Н. Старовойтов // Моделирование и управление в биоинформационных технологиях сельского хозяйства: Сборник научных трудов МГАУ. М.: МГАУ, 1997. С. 62–73.
7. Наука 21 век, август 15th, 2013. Новые устройства берут энергию из радиосигналов. URL: <http://nauka21vek.ru/archives/51808>.
8. Product Datasheet P2110 – 915 MHz RF Powerharvester™ Receiver, SPECIFICATIONS.
9. Устройство для измерения расхода жидкости: пат. 155165 Российская Федерация, МПК G01 F1/00 (2006.01) / С.А. Андреев, А.И. Матвеев. № 2015100179/28; заявл. 13.01.2015; опубл. 27.09.2015. Бюл. № 27.
10. Андреев С.А. Автоматизированная система учета водопотребления в АПК / С.А. Андреев, Н.Г. Кожевникова, А.И. Матвеев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 3. С. 10–14.
11. Матвеев А.И. Использование генераторных расходомеров в автоматизированных системах учета воды / А.И. Матвеев, С.А. Андреев // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. С. 94–97.

Статья поступила 10.03.2016

## AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF MEASURING-AND-TRANSMITTING DEVICES IN AGRICULTURAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

*SERGEY.A. ANDREYEV, PhD (Eng), associate professor<sup>1</sup>*

E-mail: asa-finance@yandex.ru

*VLADIMIR I. ZAGINAILOV, PhD (Eng), professor<sup>1</sup>*

E-mail: energo-viz@mail.ru

**ANDRIS I. MATVEYEV**, *postgraduate student*<sup>1</sup>

E-mail: anddris@bk.ru

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The development of automatic control systems for agricultural purposes is often encountered with problems concerning the design of extended communication lines connecting sensors with control processors. The use of wire communication lines determines a number of difficulties associated with large investments and an increased risk of accidents. An effective solution can be achieved through the use of wireless links for connecting sensors with control processors. It is reasonable to use radio channels as wireless communication lines. At the same time, radio communication requires a power source for each sensor. To provide power supply for parametric sensors and data transfer devices (united under the concept of measuring and transmitting devices) it is advisable to use the energy of the electromagnetic field of industrial origin: intense radio signals, electromagnetic energy of power transmission lines, navigation systems and other emitters. The paper shows that the amount of energy induced in the antenna of a receiving device does not depend on the antenna characteristics and dimensions, but largely depends on the electric field component strength and the wavelength. The authors give estimation of the electric energy power obtained as a result of industrial area electromagnetic energy conversion from power lines of 220 V and 50 Hz, as well as local radio signals with a carrier frequency of 1370 MHz. The paper provides information on advanced achievements in the field of using electromagnetic energy of industrial origin for powering low-voltage electronic devices and presents a circuit diagram of the autonomous power supply designed for powering measuring and transmitting devices in commercial water consumption metering systems and monitoring water discharge in irrigation systems.

**Key words:** automatic control system sensors, wireless communication lines, electromagnetic field energy of industrial origin, electromagnetic energy conversion.

### References

1. Ivanov Yu. Vliyaniye parametrov vozdushnoy sredy korovnika na fiziologicheskie pokazateli zhivotnykh [Effects of shed environment parameters on animal physiological indicators] / Yu.G. Ivanov, D.A. Ponizovkin // Farm Mechanization and Power Supply, 2014, No 5. Pp. 30–31.
2. Transistor receivers without power supply // Radio. 1962. No 6. P. 53.
3. O pitanii radiopriemnikov "svobodnoy energiyey" [On powering radio receivers with "free energy"] // Radio. 1997. No 1. Pp. 22–23.
4. Gromkogovoryashchiy priemnik s mostovym usilitelem i pitaniem svobodnoy energiyey [A speaker-phone receiver with a bridge amplifier powered with free energy] // Radio. 2001. Issue 12. Pp. 12–13.
5. Prostoy usilitel' dlya priemnika s pitaniem svobodnoy energiyey [A simple amplifier for a receiver powered with free energy] // Radio 2002. No 6. Pp. 55–56.
6. Andreyev S.A. Opredeleniye ustoychivosti UKV-radiosvyazi na EVM [Determining the VHF radio stability of a computer] / S.A. Andreyev, V.N. Starovoytov // Modelling and control in bioinformation farm technologies. Collection of MSAU scientific works]. M.: MSAU, 1997. Pp. 62–73.
7. Nauka 21 vek, avgust 15th, 2013. Novye ustroystva berut energiyu iz radiosignalov [Science of the 21<sup>st</sup> Century, August 15th, 2013 New devices take energy from radio signals]. URL: <http://nauka21vek.ru/archives/51808>.
8. Product Datasheet P2110 – 915 MHz RF Powerharvester™ Receiver, SPECIFICATIONS.
9. Device for metering fluid flow: Patent No 155165 Russian Federation, IPC G01F1 / 00 (2006.01) / S.A. Andreyev, A.I. Matveyev. No 2015100179/28; applied on 01.13.2015; published on 09.27.2015. Bulletin No 27.
10. Andreyev S.A. Avtomatizirovannaya sistema ucheta vodopotrebleniya v APK [Automated time tracking systems of water consumption in agriculture] / S.A. Andreyev, N.G. Kozhevnikova, A.I. Matveev // Farm Mechanization and Power Supply. 2015. No 3. Pp. 10–14.
11. Matveyev A.I. Ispol'zovanie generatorykh raskhodomerov v avtomatizirovannykh sistemakh ucheta vody [Using a flow generator in automated water flow metering systems] / A.I. Matveyev, S.A. Andreyev // Innovative Technologies in Agriculture: Theory and Practice: Collection of Articles of the III All-Russian scientific-practical conference / Scientific publishing house of PSAA. Penza: PSAA, 2015. Pp. 94–97.

*Received on March 10, 2016*