

УДК 621.31

**П.В. Терентьев, Д.А. Филатов,  
А.Ю. Захаров, А.С. Симонов**

## **РАССМОТРЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ**

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Рассмотрены схемы подключения энергоустановок на основе фотоэлектрических солнечных модулей (ФСМ), что связано с перспективой использования нетрадиционных источников энергии в сельской местности. Проведено сравнение первоначальных затрат на их приобретение. Исследованы перспективы использования схем автономного и гибридного подключения энергоустановок на основе ФСМ, дано технико-экономическое обоснование. Сделаны выводы об эффективности схем сетевого подключения энергоустановок на основе ФСМ, а также о необходимости развития нормативного-правового обеспечения в области нетрадиционных источников энергии.

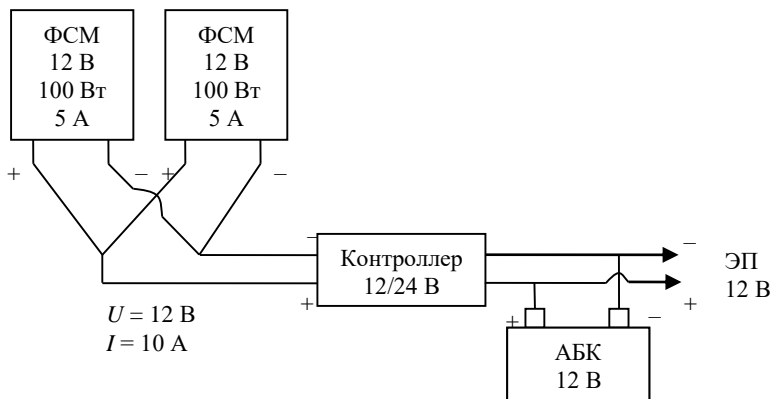
**Ключевые слова:** нетрадиционные источники энергии, схемы подключения, фотоэлектрические солнечные модули, электротехнические комплексы, энергоэффективность.

### **I. Введение**

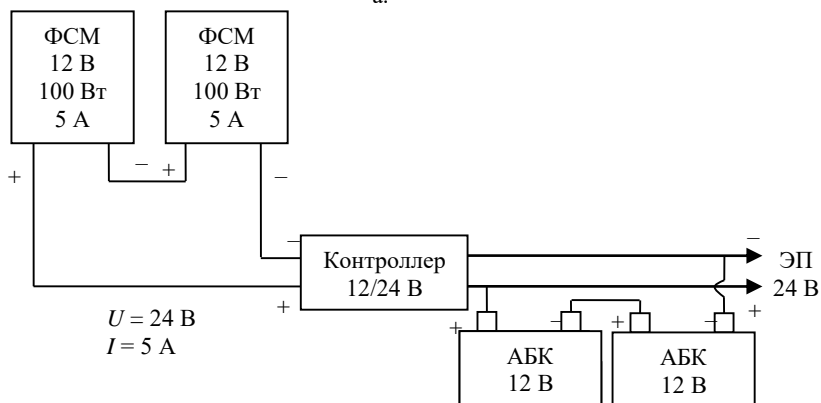
В соответствии со «Стратегией устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года» в сфере электроснабжения предстоит максимально использовать возможности применения для электроснабжения сельских населенных пунктов нетрадиционных источников энергии (солнечные батареи, ветроэнергетические установки, мини-гидроэлектростанции, биогазовые установки и др.) [1-3]. Применение нетрадиционных источников энергии позволит повысить энергоэффективность и снизить нагрузки на централизованную электросеть, повысить качество электрической энергии в сети [4-8]. В связи с этим, применительно к электротехническим комплексам объектов сельской местности проведено сравнение различных схем подключения энергоустановок на основе фотоэлектрических солнечных модулей (ФСМ).

## II. Автономная солнечная электростанция для питания нагрузки постоянного тока

На рис. 1 приведены схемы реализации автономной солнечной электростанции для питания нагрузки постоянного тока напряжением 12/24 В (DC/DC). В табл. 1 представлено сравнение затрат на приобретение оборудования для данных схем.



а.



б.

Рис. 1. Схемы автономного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24 В DC/DC: 12 В (а); 24 В (б)

АБК – аккумуляторная батарея; ФСМ – фотоэлектрический солнечный модуль; ЭП – электроприемник постоянного тока

Таблица 1.  
Сравнение затрат на реализацию схем автономного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24 В DC/DC

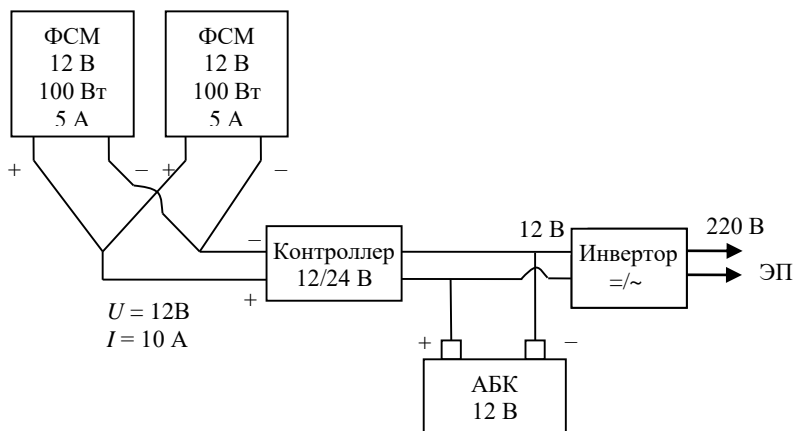
№ п/п	Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Цена всего, руб.
12 В (DC/DC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	Коннектор DELTA MC4Y Cable	1	595	595
3	Коннектор Delta MC4 AB	1	150	150
4	Контроллер DELTA PWM 2420	1	1615	1615
5	Аккумуляторная батарея Delta GEL 12-100	1	15990	15990
6	Провод ПВС 2х6	10	96,9	969
7	Провод ПВЗ 16	2	111	222
За оборудование			Итого	27721
24 В (DC/DC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	Коннектор Delta MC4 AB	1	150	150
3	Контроллер DELTA PWM 2410	1	915	915
4	Аккумуляторная батарея Delta GEL 12-55	2	8990	17980
5	Провод ПВС 2х4	10	68,5	685
6	Провод ПВЗ 16	2	111	222
За оборудование			Итого	28132

\* Цены на оборудование энергоустановки на основе ФСМ взяты с сайта [www.onlinetrade.ru](http://www.onlinetrade.ru) [9].

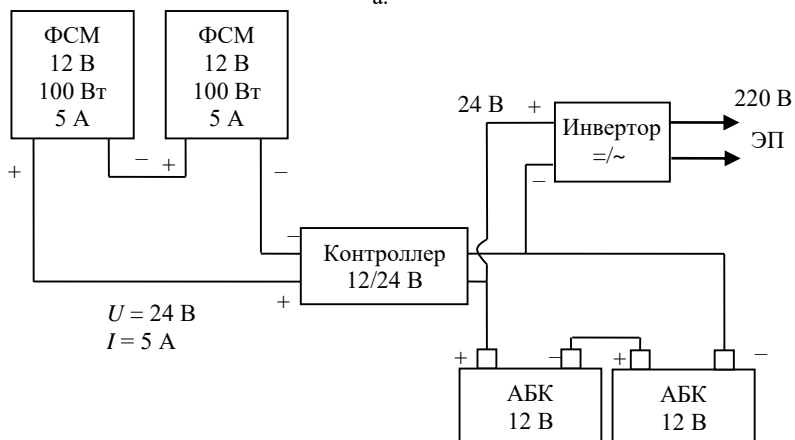
Из приведенных в табл. 1 данных можно сделать вывод, что меньшие затраты на приобретение оборудования требуются для схемы подключения ФСМ на 12 В. Основная доля затрат при реализации схемы автономного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/DC приходится на аккумуляторные батареи (АКБ) (до 64 %), далее следуют ФСМ (до 29,5 %).

### III. Автономная солнечная электростанция для питания нагрузки переменного тока

На рис. 2 приведены схемы реализации автономной солнечной электростанции для питания нагрузки переменного тока напряжением 220 В (DC/AC). В табл. 2 представлены затраты на приобретение оборудования.



а.



б.

Рис. 2. Схема автономного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/AC: 12/220 В (а); 24/220 В (б)  
 АБК – аккумуляторная батарея; ФСМ – фотоэлектрический солнечный модуль;  
 ЭП – электроприемник переменного тока

Таблица 2.  
Сравнение затрат на реализацию схем автономного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/AC

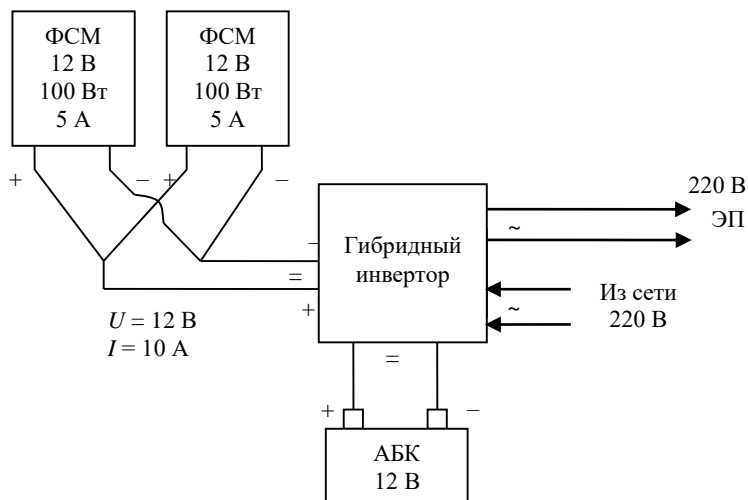
№ п/п	Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Цена всего, руб.
12/220 В (DC/AC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	Контроллер DELTA PWM 2420	1	1615	1615
3	Аккумуляторная батарея Delta GEL 12-100	1	15990	15990
4	Коннектор DELTA MC4Y Cable	1	595	595
5	Коннектор Delta MC4 AB	1	150	150
6	Инвертор ИС3-12-600	1	7200	7200
7	Провод ПВС 2х6	10	96,9	969
8	Провод ПВЗ 16	2	111	222
За оборудование			Итого	34921
24/220 В (DC/AC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	Контроллер DELTA PWM 2410	1	915	915
3	Аккумуляторная батарея Delta GEL 12-55	2	8990	17980
4	Коннектор Delta MC4 AB	1	150	150
5	Инвертор ИС3-24-600	1	7500	7500
6	Провод ПВС 2х4	10	68,5	685
7	Провод ПВЗ 16	2	111	222
За оборудование			Итого	35632

По данным табл. 2 можно сделать вывод, что менее затратной также является схема 12/220 В. Основная доля затрат при реализации схемы автономного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/AC приходится на аккумуляторные батареи (до 50,5 %), далее следуют ФСМ (до 23,4 %) и инвертор (до 21,0 %).

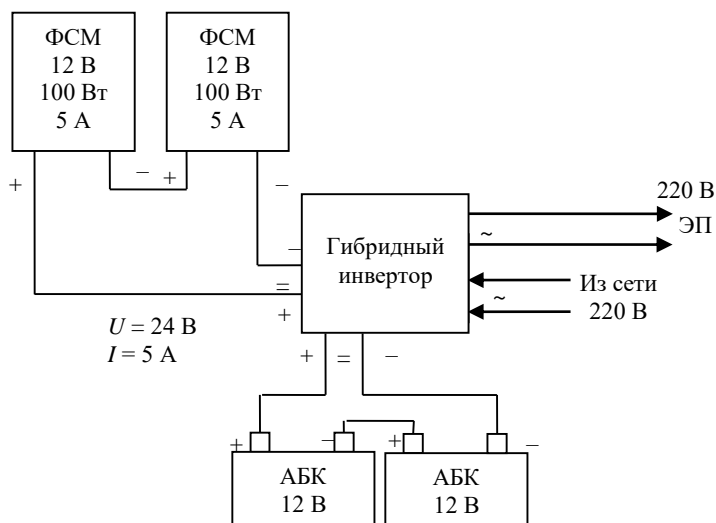
#### IV. Гибридная солнечная электростанция для питания нагрузки переменного тока

На рис. 3 приведены схемы реализации гибридной солнечной электростанции для питания нагрузки переменного тока напряжением 220 В (DC/AC).

В табл. 3 представлены затраты на приобретение оборудования для реализации схемы гибридной солнечной электростанции.



а.



б.

Рис. 3. Схема гибридного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/AC: 12/220 В (а); 24/220 В (б)  
 АБК – аккумуляторная батарея; ФСМ – фотоэлектрический солнечный модуль;  
 ЭП – электроприемник переменного тока

Таблица 3.  
Сравнение затрат на реализацию схем гибридного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/AC

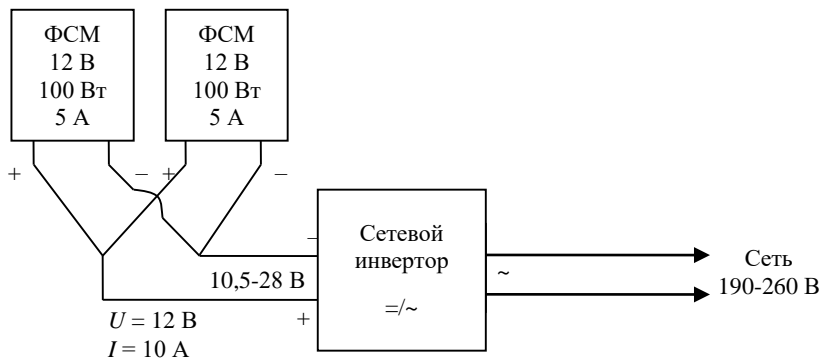
№ п/п	Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Цена всего, руб.
12/220 В (DC/AC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	Коннектор DELTA MC4Y Cable	1	595	595
3	Коннектор Delta MC4 AB	1	150	150
4	Гибридный инвертор SILA V 1000P (1кВт, 12В, PWM 50А)	1	16000	16000
5	Аккумуляторная батарея Delta GEL 12-100	1	15990	15990
6	Провод ПВС 2х6	10	96,9	969
7	Провод ПВЗ 16	2	111	222
За оборудование			Итого	42106
24/220 В (DC/AC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	Коннектор Delta MC4 AB	1	150	150
3	Гибридный инвертор SILA V 2000P (2кВт, 24В, PWM 50А)	1	18600	18600
4	Аккумуляторная батарея Delta GEL 12-55	2	8990	17980
5	Провод ПВС 2х4	10	68,5	685
6	Провод ПВЗ 16	2	111	222
За оборудование			Итого	45817

На основе данных из табл. 3 можно сделать вывод: схема 12/220 В дешевле. Основная доля затрат при реализации схемы гибридного подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/AC приходится на гибридный инвертор (до 40,6 %), далее следуют аккумуляторные батареи (до 39,2 %) и ФСМ (до 19,4 %). Следует отметить также, что приведенные в табл. 3 гибридные инверторы позволяют увеличить мощности ФСМ до 1 кВт и 2 кВт соответственно.

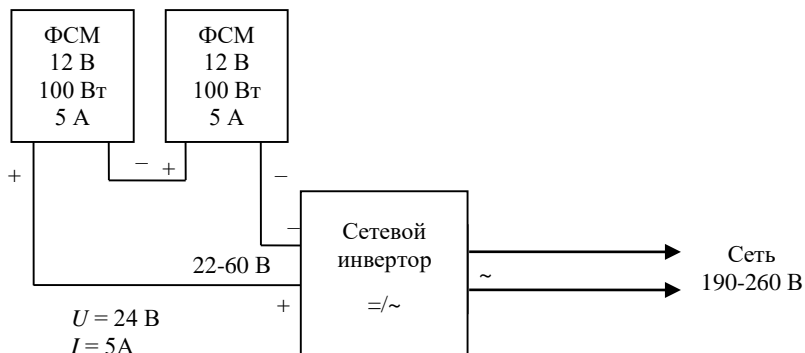
#### **V. Сетевая солнечная электростанция для питания нагрузки переменного тока**

На рис. 4 приведены схемы реализации сетевой солнечной электростанции для питания нагрузки переменного тока напряжением 220 В (DC/AC).

В табл. 4 представлены затраты на приобретение оборудования для реализации схемы сетевой солнечной электростанции.



а.



б.

Рис. 4. Схема сетевого подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/АС: 12/220 В (а); 24/220 В (б)  
ФСМ - фотоэлектрический солнечный модуль

Таблица 4.  
Сравнение затрат на реализацию схем сетевого подключения энергоустановки на основе ФСМ-12/24В DC/АС

№ п/п	Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Цена всего, руб.
12/220 В (DC/AC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	<b>КОННЕКТОР DELTA MC4Y CABLE</b>	1	595	595



Продолжение табл. 4.

3	<b>КОННЕКТОР DELTA MC4 AB</b>	1	150	150
4	Grid tie inverter (600W, 10.5-28V, MPPT 45A)	1	4600	4600
5	Провод ПВС 2х6	10	96,9	969
За оборудование			Итого	14494
24/220 В (DC/AC)				
1	ФСМ Delta SM 100-12P	2	4090	8180
2	<b>КОННЕКТОР DELTA MC4 AB</b>	1	150	150
3	Grid tie inverter (600W, 22-60V, MPPT 45A)	1	4600	4600
4	Провод ПВС 2х4	10	68,5	685
За оборудование			Итого	13615

По данным табл. 4 видно, что в случае сетевого подключения наименьшие затраты на приобретение оборудования требует схема 24/220 В. Основная доля затрат приходится на ФСМ (до 60,1 %), далее следует сетевой инвертор (до 33,8 % затрат).

#### VI. Заключение

Схемы автономного и гибридного подключения энергоустановок на основе ФСМ обеспечивают потребителей электроэнергией в ночное время суток, но более чем в два раза превышают по стоимости сетевые солнечные электростанции.

С точки зрения технико-экономического обоснования, наиболее эффективными из рассмотренных схем подключения энергоустановок на основе ФСМ являются схемы сетевого подключения. Они позволяют сократить потребление электрической энергии в дневное время суток из централизованной электросети.

Для более эффективного использования подобных систем, в том числе, на объектах сельской местности, необходимо развитие законодательной и нормативно-правовой базы в области нетрадиционных источников энергии на территории Российской Федерации [10].

© Терентьев П.В., 2019

© Филатов Д.А., 2019

© Захаров А.Ю., 2019

© Симонов А.С., 2019

**Библиографический список**

- [1] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 02.02.2015 г. № 151-р (ред. от 13.01.2017 г.) «Об утверждении Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года».
- [2] Федеральный закон Российской Федерации № 261-ФЗ от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
- [3] Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 17.02.2010 г. № 61 «Об утверждении примерного перечня мероприятий в области энергоснабжения и повышения энергетической эффективности, который может быть использован в целях разработки региональных, муниципальных программ в области энергоснабжения и повышения энергетической эффективности».
- [4] ГОСТ 32144-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
- [5] Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б., Севостьянов А.А. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 224 с.
- [6] Терентьев П.В. Исследование качества и повышение эффективности использования электроэнергии в электротехнических комплексах служебных и жилых зданий: дисс. канд. техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, 2014. – 285 с.
- [7] Филатов Д.А., Терентьев П.В. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетике сельского хозяйства. Н. Новгород: Нижегородская ГСХА, 2017. – 116 с.
- [8] Филатов Д.А. Применение возобновляемых источников энергии для повышения эффективности электроснабжения сельскохозяйственных предприятий: дисс. канд. техн. наук, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, 2016. – 154 с.
- [9] Онлайн Трейд. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.onlinetrade.ru/catalogue/zashchita\\_pitaniya-c2533/](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/zashchita_pitaniya-c2533/) (дата обращения 01.11.2019).
- [10] Безруких П.П., Стребков Д.С. Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. – 264 с.

**P.V. Terentyev, D.A. Filatov,  
A.Yu. Zakharov, A.S. Simonov**

**CONSIDERATION OF VARIOUS SCHEMES  
FOR CONNECTING POWER PLANTS  
BASED ON PHOTOELECTRIC SOLAR MODULES  
TO ENHANCE ENERGY EFFICIENCY  
OF ELECTRICAL COMPLEXES IN RURAL AREAS**

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy  
Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** Both in the world and in Russia, prices for electricity from a centralized power supply system are rising. For this reason, industrialized countries are intensively developing alternative energy systems, which are based on renewable energy sources. The use of unconventional energy sources in the form of photovoltaic solar modules will improve the energy efficiency of electrical complexes of various rural facilities and reduce the load on a centralized power grid. The article discusses the connection schemes of power plants based on photovoltaic solar modules, from the point of view of a feasibility study of the effectiveness of their implementation.

**Keywords:** electrical complexes, energy efficiency, photovoltaic solar modules, unconventional energy sources, wiring diagrams.

**References**

- [1] Order of the Government of the Russian Federation No. 151 dated February 02, 2015 (as amended on January 13, 2017), «Ob utverzhdenii Strategii ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda (On approval of the Strategy for the sustainable development of rural territories of the Russian Federation for the period until 2030)» (in Russian).
- [2] Federal Law No. 261-FZ dated November 23, 2009, «Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoy ef-fektivnosti i o vnesenii izmeneniy v ot-del'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii (On energy saving and on improving energy efficiency and on amending certain legislative acts of the Russian Federation)» (in Russian).
- [3] Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation No. 61 dated February 17, 2010, «Ob utverzhdenii primernogo perechnya meropriyatiy v oblasti energosnabzheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti, kotoryy mozhet byt' ispol'zovan v tselyakh razrabotki regional'nykh, munitsipal'nykh programm v oblasti energosnabzheniya i povysheniya energeticheskoy effektivnosti (On approval of the approximate list of measures in the field of energy supply and energy efficiency, which can be used to develop regional and municipal programs in the field of energy supply and energy efficiency)» (in Russian).

- [4] Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems, GOST 32144-2013, July 2014.
- [5] G.Ya. Vagin, A.B. Loskutov and A.A. Sevostyanov, *Elektromagnitnaya sovmeštmost' v elektroenergetike (Electromagnetic compatibility in the power industry)*. N. Novgorod: Akademiya, 2010 (in Russian).
- [6] P.V. Terentiev, «*Issledovanie kachestva i povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya elektroenergii v elektrotekhnicheskikh kompleksah sluzhebnyh i zhilyh zdaniy (Study of the quality and increase of the efficiency of using electric power in electrical engineering complexes of office and residential buildings)*», Cand. of Tech. S. thesis, NNSTU n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, 2014, P. 285 (in Russian).
- [7] D.A. Filatov and P.V. Terentyev, *Kachestvo elektroenergii i elektromagnitnaya sovmeštmost' v elektroenergetike sel'skogo khozyaystva (The quality of electricity and electromagnetic compatibility in the electricity industry of agriculture)*. N. Novgorod: NNSAA, 2017 (in Russian).
- [8] D.A. Filatov, «*Primeneniye vozobnovlyayemykh istochnikov energii dlya povysheniya effektivnosti elektroobzheniya sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy (The use of renewable energy sources to improve the efficiency of electricity supply to agricultural enterprises)*», Cand. of Tech. S. thesis, NNSTU n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia, 2016, P. 154 (in Russian).
- [9] Online Trade. [Online]. Available at: [https://www.onlinetrade.ru/catalogue/zashchita\\_pitanija-c2533/](https://www.onlinetrade.ru/catalogue/zashchita_pitanija-c2533/) [Accessed: Nov. 1, 2019].
- [10] P.P. Bezrukikh and D.S. Strebkov, *Vozobnovlyayemaya energetika: strategiya, resursy, tekhnologii (Renewable Energy: Strategy, Resources, Technologies)*. Moscow: GNU VIESKH, 2005 (in Russian).