

Экспериментальные исследования теплоносителя при воздействии поля сверхвысокой частоты

Ирина Георгиевна Ершова,
кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: eig85@yandex.ru;

Алексей Николаевич Васильев,
доктор технических наук, профессор,
руководитель научного направления;
Дмитрий Витальевич Поручиков,
научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Оценить исходные требования к теплоносителю при проектировании установки для получения энергии фазового перехода «вода – лед», необходимо провести экспериментальные исследования по теплофизическим и электрофизическим параметрам теплоносителя. Выбор теплоносителя определяет мощность разработанной установки. (*Цель исследования*) Экспериментально определить теплофизические и электрофизические параметры теплоносителя при воздействии на него электромагнитным полем сверхвысокой частоты, с перспективой применения этого теплоносителя в разработанной установке. (*Материалы и методы*) Использовали в качестве теплоносителя в разработанной экспериментальной установке для получения энергии фазового перехода «вода – лед» воду и солевой раствор хлорида натрия концентрацией 1-20 процентов. При воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты (микроволновая печь Mystery MMW-2315G) мощностью 800 Ватт, при частоте магнетрона 2450 мегагерц изменяли продолжительность обработки: 30, 60 и 120 секунд. Измерили температуру замерзания, pH воды и растворов, удельную электропроводность, концентрацию соли. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что при воздействии электромагнитного поля сверхвысокой частоты на раствор хлорида натрия концентрацией 20 процентов температура его замерзания понижается с минус 16,6 до минус 18,5 градуса Цельсия, для эвтектического раствора – с минус 21,2 до минус 25 градусов Цельсия, pH и концентрация соли повышается, а удельная электропроводность уменьшается. (*Выводы*) Подобрали оптимальный теплоноситель для разработанной экспериментальной установки: солевой раствор хлорида натрия концентрацией 20 процентов, температура замерзания составляет минус 16,6 градуса Цельсия. Рекомендовали предусмотреть дополнительную емкость для электрофизической обработки теплоносителя. Определили, что после обработки электромагнитной обработкой сверхвысокой частоты температура замерзания солевого раствора понизилась до минус 18,5 градуса Цельсия. **Ключевые слова:** фазовый переход «вода – лед», солевой раствор, теплоноситель, электрофизическое воздействие, электромагнитное поле сверхвысокой частоты.

■ Для цитирования: Ершова И.Г., Васильев А.Н., Поручиков Д.В. Экспериментальные исследования параметров теплоносителя при воздействии электромагнитным полем сверхвысокой частоты // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №5. С. 33-37. DOI 10.22314.2073-7599-2019-13-5-33-37.

Experimental Research of Heat Carrier Parameters when Exposed to Electromagnetic Field of Super-High Frequency

Irina G. Ershova,
PhD (Eng.), Research Associate,
e-mail: eig85@yandex.ru;

Aleksey N. Vasiliev
Dr.Sc.(Eng.), professor, head of research area;
Dmitriy V. Poruchikov,
research associate

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. In order to evaluate the initial requirements for a coolant when designing an installation for obtaining the energy of the “water – ice” phase transition, it is necessary to conduct experimental studies on the thermophysical and electrophysical parameters of the coolant. The type of chosen coolant determines the power of the developed installation. (*Research purpose*) Experimental determination of the thermophysical and electrophysical parameters of the coolant when exposed to an electromagnetic field of super-high frequency, with the prospect of using this coolant in the developed installation. (*Materials and methods*) The authors used water and a saline solution of sodium chloride at a concentration of 1–20 percent as a coolant in the developed experimental installation for obtaining the energy of the “water-ice” phase transition. When exposed to an electromagnetic field of super-high frequency (microwave oven Mystery MMW-2315G) with a power of 800 watts and a magnetron frequency of 2450 megahertz, the

treatment time was alternatively set at 30, 60 and 120 seconds. Measurements were taken of freezing temperature, pH of water and solutions, electrical conductivity, and salt concentration. (*Results and discussion*) It has been found that when a super-high-frequency electromagnetic field affects a sodium chloride solution at a concentration of 20 percent, its freezing temperature decreases from 16.6 degrees Celsius below zero to 18.5 degrees Celsius below zero, for a eutectic solution - from 21.2 degrees Celsius below zero to 25 degrees Celsius below zero, while pH and salt concentration increase, and specific electrical conductivity decreases as well. (*Conclusions*) The authors have selected an optimal coolant for the developed experimental installation: a saline solution of sodium chloride at a concentration of 20 percent and a freezing temperature of 16.6 degrees Celsius below zero. It is recommended to provide additional capacity for the electrophysical treatment of the coolant. It has been determined that after the super-high frequency electromagnetic treatment, the freezing temperature of the saline solution dropped to 18.5 degrees Celsius below zero.

Keywords: “water – ice” phase transition, saline solution, coolant, electrophysical effect, electromagnetic field of super-high frequency.

For citation: Ershova I.G., Vasiliev A.N., Poruchikov D.V. Eksperimental'nye issledovaniya parametrov teplonositelya pri vozdeystvii elektromagnitnogo pole sverkhvysokoy chastoty [Experimental studies of coolant parameters when exposed to electromagnetic field of super-high frequency]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N5. 33-37 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-5-33-37.

Исследования процесса образования льда в экспериментальной установке позволяют выявить теплоноситель, при использовании которого можно получить необходимое количество энергии для отопления сельскохозяйственных объектов. В разработанной экспериментальной установке в качестве теплоносителя рекомендованы водопроводная вода и солевой раствор хлорида натрия различной концентрации [1]. Однако вода будет замерзать и снизит эффективность работы установки. Температура замерзания солевого раствора определяется концентрацией соли в растворе. Например, водный раствор хлористого натрия может не замерзать до температуры минус 21,2°C при содержании соли 23,1% (рис. 1).

С ростом концентрации хлорида натрия в водной среде температура замерзания раствора падает, что объясняется понижением барьера вращения молекул воды в присутствии молекул $NaCl$. Чем больше водных димеров взаимодействует с молекулами соли, тем активнее вращаются молекулы воды и раствор труднее перевести в твердое состояние. Теплофизические свойства воды и водных растворов могут меняться при внешних электрофизических воздействиях.

Теплофизические параметры теплоносителя (температура замерзания, температуропроводность, растворимость соли, плотность) – воды и солевых растворов различной концентрации, а также электрофизические параметры (диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, электропроводность, температурный коэффициент электропроводности) изменяются при воздействии электрического и магнитного поля [2].

Известно, при фазовом переходе «вода – лед» выделяется энергия 334 кДж. Эта энергия может быть использована для отопления и горячего водоснабжения сельскохозяйственных объектов. Для получения энергии фазового перехода «вода – лед» разработана экспериментальная установка [3, 4]. С использованием микроволновой печи *Mystery MMW-2315G* мощно-

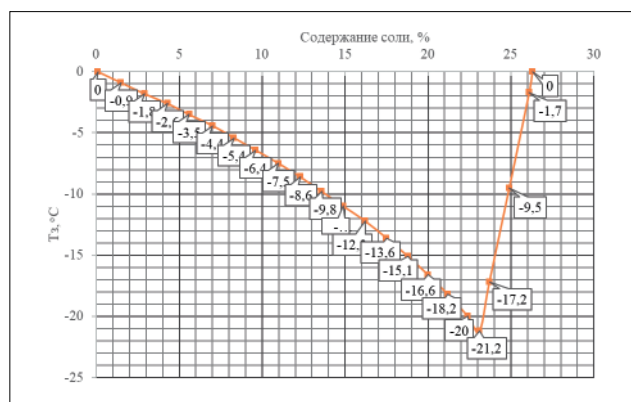


Рис. 1. Зависимость температуры замораживания раствора хлористого натрия от содержания в нем соли

Fig. 1. Relationship between the freezing temperature of a sodium chloride solution and its salt content

стью 800 Вт, с частотой магнетрона 2450 МГц изучено электрофизическое воздействие электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) [5].

Отмечено, что водный раствор хлорида натрия замерзает при разной температуре в зависимости от его концентрации и продолжительности обработки электромагнитным полем СВЧ.

Цель исследования – экспериментально определить теплофизические и электрофизические параметры теплоносителя при воздействии на него электромагнитным полем сверхвысокой частоты, с перспективой применения этого теплоносителя в разработанной установке.

Материалы и методы. Чтобы выбрать теплоноситель для получения энергии при отоплении 100 м² здания сельскохозяйственного объекта, применяли воду и солевой раствор хлорида натрия концентрацией 1-20%.

Измерили температуру замерзания, pH, удельную электропроводность солевого раствора. Источником ЭМП СВЧ служила микроволновая печь *Mystery MMW-2315G* мощностью 800 Вт, с частотой магнетрона 2450 МГц. Продолжительность обработки составляла 30;

60 и 120 с. Концентрация раствора – 1%, 5; 10; 15 и 20%, объем 50 мл (высота жидкости 3 см, диаметр стакана – 4 см). Температура холодной воды в водопроводной сети в отопительный период равна 5°C; в неоптоительный период – 15°C (Постановление Правительства РФ № 306 от 23.05.2006 в редакции от 16.04.2013 «Об утверждении Правил установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг»).

Использовали методику трехфакторного активного планирования эксперимента типа 23 и программу *Statistic V5.0* [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При воздействии ЭМП СВЧ на водопроводную воду и раствор с концентрацией от 1 до 15% температура замерзания не изменилась (рис. 2). При концентрации 20% температура замерзания раствора снижается с минус 16,6 до минус 18,5°C. Концентрация эвтектического раствора равна 23,1%. При этом значении температуры замерзания падает с минус 21,2 до минус 25°C.

При воздействии ЭМП СВЧ pH раствора увеличивается (рис. 3). Особенно это заметно в варианте с концентрацией 5% – с 5,7 до 6,5. В случае 20%-го раствора этот показатель увеличился с 6,2 до 6,4. Для теплоносителя в разработанной установке это приемлемый результат. Удельная электропроводность 15%-го солевого раствора уменьшилась с 1451 до 1262 мкСм/см. Это соответствует требованиям к теплоносителю в разработанной установке. Для растворов концентрацией 1% и 5% значения не изменились.

Концентрация соли в водопроводной воде при обработке ЭМП СВЧ увеличилась с 263 до 306 мг/л (рис. 5).

Составили матрицу планирования эксперимента по оптимизации режимов регулирования электрофи-

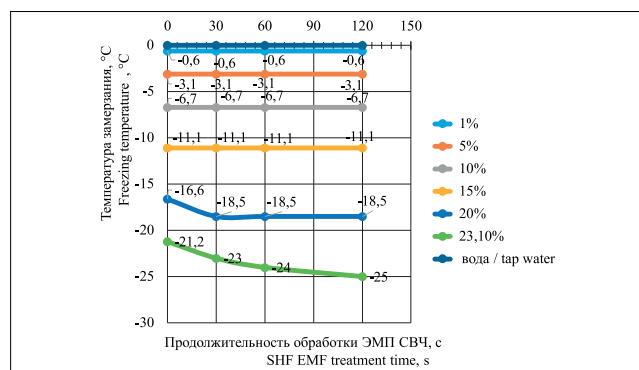


Рис. 2. Зависимость температуры замерзания воды и раствора от продолжительности обработки ЭМП СВЧ

Fig. 2. Relationship between the freezing temperature of water and a solution and the SHF EMF treatment time, sec.

зического воздействия на солевой раствор (таблица).

Пользуясь методикой трехфакторного активного планирования эксперимента типа 23 и программой *Statistic V5.0* [6] построили следующие поверхности откликов и их двумерные сечения в изолиниях: температуры замерзания, кислотности и удельной электропро-

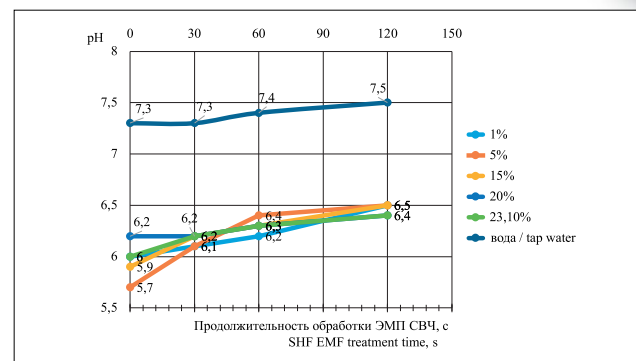


Рис. 3. Зависимость pH раствора от его концентрации и продолжительности обработки ЭМП СВЧ

Fig. 3. Relationship between the pH factor of a solution and the SHF EMF treatment time

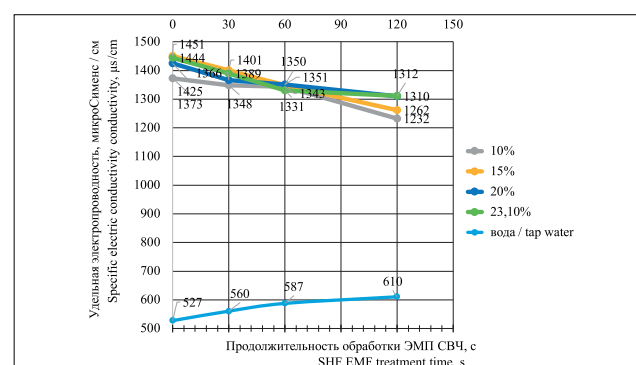


Рис. 4. Зависимость удельной электропроводности от концентрации раствора и продолжительности обработки ЭМП СВЧ

Fig. 4. Relationship between specific electric conductivity and the concentration of a solution and the SHF EMF treatment time

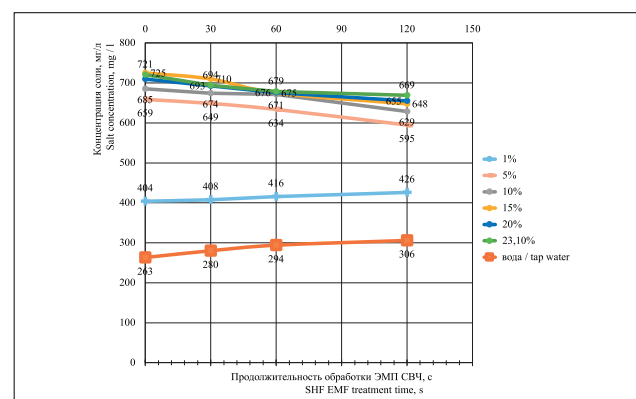


Рис. 5. Зависимость концентрации соли в водопроводной воде при обработке ЭМП СВЧ

Fig. 5. Relationship between salt concentration in tap water and the SHF EMF treatment time

водности солевого раствора (рис. 6-8). Эмпирическое выражение модели температуры замерзания раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора будет иметь вид:

$$T_3 = -0,6693 - 0,0018\tau - 0,1037c + 6,5789 \cdot 10^{-5} \cdot \tau^2 - 0,0013\tau c - 0,0353c^2.$$

Эмпирическое выражение модели удельной электропроводности раствора в зависимости от продол-

Таблица					Table		
МАТРИЦА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМП СВЧ НА СОЛЕВОЙ РАСТВОР NaCl							
PLANNING MATRIX OF THE EXPERIMENT TO OPTIMIZE THE REGULATION MODES OF THE MICROWAVE EMF EFFECTS ON NaCl SALINE SOLUTION							
№	Варьируемые параметры Variable parameters				Критерии оптимизации Optimization criteria		
	продолжительность обработки ЭМП СВЧ, с SHF EMF treatment time, s		концентрация раствора, % solution concentration,%				
	x_1	τ	x_2	c	Y_1	Y_2	Y_3
1	+	120	+	23,1	−25,0	6,4	1312
2	+	120	−	1	−0,6	6,5	852
3	−	0	+	23,1	−21,2	6,0	1444
4	−	0	−	1	−0,6	6,0	833
5	0	60	0	15	−11,1	6,3	1350
6	−	0	0	15	−11,1	5,9	1451
7	+	120	0	15	−11,1	6,5	1262
8	0	60	−	1	−0,6	6,2	817
9	0	60	+	23,1	−24,0	6,3	1331
10	0	60	0	15	−11,1	6,3	1350
11	0	60	0	15	−11,1	6,3	1350
Примечание: Y_1 – температура заморозания, T_3 , °C; Y_2 – pH, кислотность; Y_3 – удельная электропроводность, σ , мкСм/см							
Note: Y_1 – freezing temperature, T_3 , °C; Y_2 – pH, acidity; Y_3 – specific electrical conductivity, σ , $\mu\text{S}/\text{cm}$							

жительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора выглядит следующим образом:

$$\sigma = 778,8615 - 0,7394\tau + 68,1052c + 0,0062\tau^2 - 0,0643\tau c - 1,6739c^2.$$

Расчетным путем установлено, что для отопления сельскохозяйственного объекта площадью 100 м² мощность теплосилового оборудования составит 12,8 кВт, в сутки – 306 кВт·ч. Требуемый объем льда – 3602,8 л, объем выработки льда теплообменника – 150,1 л/ч. Объем бака для сбора льда составит 2 м³, бака теплообменника с силиконовыми трубками – 2 м³, бака для электрофизической обработки воды – 1 м³, общий объем бака теплообменника – 5 м³. Длина силиконовой трубки диаметром 30 мм для осуществления процесса образования льда составит 1,5 м. Внутри силико-

новой трубки перемещается солевой раствор, а на поверхности намораживается лед, его расход составляет 2 м³/ч. Максимальная толщина льда – 3,5 см.

Выводы. Обработка электрофизическим воздействием в разработанной установке понижает температуру заморозания теплоносителя, что подтверждено экспериментально. При воздействии ЭМП СВЧ (частота магнетрона 2450 МГц, номинальная мощность – 800 Вт, продолжительность 120 с) на раствор хлорида натрия концентрацией 20% наблюдается понижение температуры заморозания раствора с минус 16,6 до минус 18,5°C, для эвтектического раствора концентрацией 23,1% температура заморозания падает с

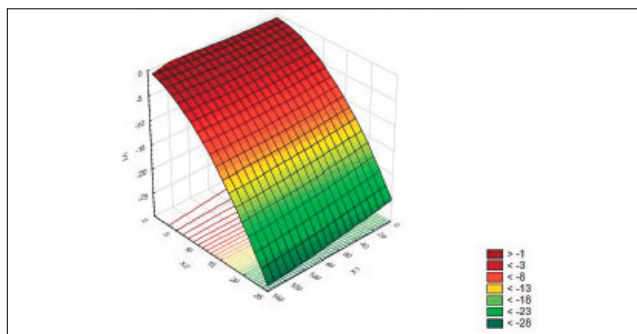


Рис. 6. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели температуры заморозания раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора

Fig. 6. Two-dimensional cross-sections in contour curves and the response surface of a three-factor model of the freezing temperature of a solution, depending on the SHF EMF treatment time and the solution concentration

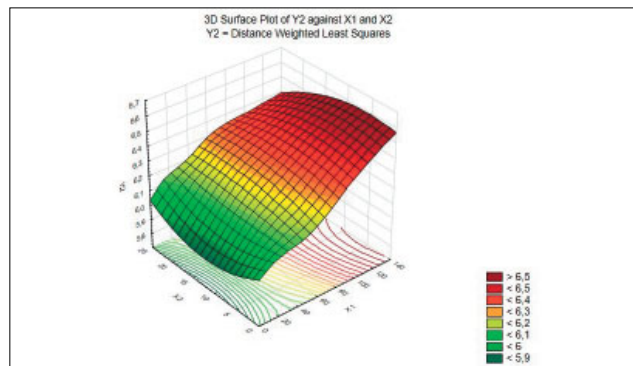
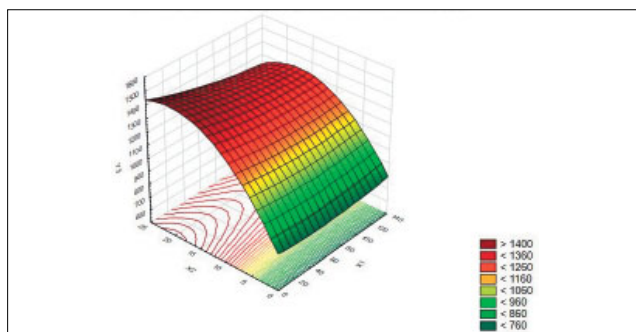


Рис. 7. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели кислотности раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора

Fig. 7. Two-dimensional cross-sections in contour curves and the response surface of a three-factor model of the acidity of a solution, depending on the SHF EMF treatment time and the solution concentration



минус 21,2 до минус 25°C. При воздействии ЭМП СВЧ на водопроводную воду температура замерзания не изменилась. Наиболее заметное изменение pH (а именно – увеличение с 5,7 до 6,5) соответствует раствору с концентрацией 5%. Уменьшение удельной электропроводности более выражено в варианте с концентрацией раствора 15% – с 1451 до 1262 мкСм/см. Концентрация соли отчетливо повысилась в водопроводной

Рис. 8. Двумерные сечения в изолиниях и поверхность отклика трехфакторной модели удельной электропроводности раствора в зависимости от продолжительности обработки ЭМП СВЧ и концентрации раствора

Fig. 8. Two-dimensional cross-sections in contour curves and the response surface of a three-factor model of the specific electric conductivity of a solution, depending on the SHF EMF treatment time and the solution concentration

воде – с 263 до 306 мг/л. В разработанной экспериментальной установке следует рекомендовать в качестве теплоносителя солевой раствор хлорида натрия концентрацией 20%, температура замерзания которого составляет минус 16,6°C. Необходимо предусмотреть дополнительную емкость для электрофизической обработки теплоносителя. После обработки ЭМП СВЧ температура замерзания солевого раствора понизилась до минус 18,5°C.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина»*. 2015. N1(65). С. 31-35.
2. Dykstra C.E. External electric field effects on the water trimer. *Chemical Physics Letters*. 1999. Vol. 299. Issue 2. 132-136.
3. Васильева И.Г. Инновационная энергосберегающая установка // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева*. 2011. N4(72). Ч.1. С. 7-12.
4. Ershova I., Poruchikov D., Vasiliev A., Samarin G., Ruzhy-

ev V., Zhukov A., Normov D. Technical and economic efficiency assessment of heat pump electric regulator application on agricultural object. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2019. 877-885.

5. Родионова А.В., Боровков М.С., Ершов М.А. Обоснование выбранной частоты электромагнитных излучений при физиопрофилактике крольчат // *Нива Поволжья*. 2012. N1(22). С. 108-110.

6. Спирин Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург: Уральский государственный технический университет – УПИ. 2004. 357 с.

REFERENCES

1. Dorokhov A.S. Effektivnost' otsenki kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i zapasnykh chastey [Effectiveness of assessing the quality of agricultural machinery and spare parts]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina"*. 2015. N1(65). 31-35 (In Russian).
2. Dykstra C.E. External electric field effects on the water trimer. *Chemical Physics Letters*. 1999. Vol. 299. Issue 2. 132-136 (In English).
3. Vasilieva I.G. Innovatsionnaya energosberegayushchaya ustanovka [Innovative energy-saving installation]. *Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni I.Ya. Yakovleva*. 2011. N4(72). Part 1. 7-12 (In Russian).
4. Ershova I., Poruchikov D., Vasiliev A., Samarin G., Ruzhy-

ev V., Zhukov A., Normov D. Technical and economic efficiency assessment of heat pump electric regulator application on agricultural object. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. 2019. 877-885 (In English).

5. Rodionova A.V., Borovkov M.S., Ershov M.A. Obosnovanie vybrannoy chastoty elektromagnitnykh izlucheni pri fizioprofilaktike krol'chat [Rationalizing the selected frequency of electromagnetic radiation during physioprophylaxis treatment of rabbits]. *Niva Povolzh'ya*. 2012. N1(22). 108-110 (In Russian).

6. Spirin N.A., Lavrov V.V. Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhenernogo eksperimenta [Methods of planning and processing the results of an engineering experiment]. Ekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet – UPI. 2004. 357 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 31.07.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 31.07.2019

Статья принята к публикации 22.11.2019
The paper was accepted
for publication on 22.11.2019