

## References

1. Fedorenko, I.Ya. Obosnovanie obemno-planirovochnykh i tekhnicheskikh resheniy molochnotovarnoy fermy dlya usloviy Sibiri s ispolzovaniem klassifikatsionnoy matritsy / I.Ya. Fedorenko, N.I. Kapustin, V.V. Sadov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 11 (145). – S. 140-146.
2. Pozin, G.M. Sistemy ventilyatsii sovremennykh pomeshcheniy dlya sodержaniya krupnogo rogatogo skota / G.M. Pozin i [dr.] // Inzhenernye sistemy. – 2009. – No. 2. – S. 34-41.
3. Behens G. Freie Lueftung in der Milchproduktion, ein Beispiel fuer energiesparende und gesunde Haltung / G. Behens // Tierzucht. – 1984. – Nr. 1. – S. 32-34.
4. Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu ferm i kompleksov krupnogo rogatogo skota / RD-APK 1.10.01.02.-10. – Moskva: MSKh RF, 2011. – 108 s.
5. Rymkevich, A.A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа. – Moskva: Stroyizdat, 1990. – 300 s.
6. Bazarov, I. P. Termodinamika. – Moskva: Vysshaya shkola, 1991. – 376 s.
7. Shepelev V.V. Fazovye perekhody vody – osnova prirodnykh vodoobmennyykh tsiklov // Fundamentalnye problemy vody i vodnykh resursov na rubezhe tretogo tysyacheletiya. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2000. – S. 495-498.
8. Solovev S.A. Model teplovykh potokov v individualnoy kletke dlya telenka / S.A. Solovev, V.N. Alekseev, M.M. Bokiev // Tekhnika v selskom khozyaystve. – 2000. – No. 4. – S. 28-29.



УДК 620.953:620.98

**Ю.М. Дулепова, Д.Е. Дулепов, М.С. Жужин, А.А. Александрова**  
**Yu.M. Dulepova, D.Ye. Dulepov, M.S. Zhuzhin, A.A. Aleksandrova**

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ ДЛЯ ПОЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

### MATHEMATICAL MODELING OF A WATER HEATER FOR CATTLE WATERING

**Ключевые слова:** *нагрев воды, поение, температура воды, экономия электрической энергии, теплообменник, тепловыделение КРС, теплота, математический расчёт, мощность, время нагрева, продолжительность нагрева.*

Изучение потребления энергоресурсов сельскохозяйственными предприятиями выявило повышенное потребление электрической энергии. Очевидно, что требуется снижение её потребления. Большую часть потребления электрической энергии в сельскохозяйственных предприятиях занимают электрические водонагреватели. Рассматриваются типы нагревательных устройств в зависимости от вида нагрева: косвенного, прямого, индукционного, диэлектрического. Проводился анализ научных работ многих учёных о влиянии температуры на продуктивность животных. Выяснили, что вода различной температуры оказывает разное влияние на производительность крупного рогатого скота, но по-прежнему остаётся потребность в подогреве воды. Для того чтобы удовле-

творить требование в снижении потребления электрической энергии, затрачиваемой на нагрев воды, предлагается использовать новое устройство, которое представляет собой теплообменник, работающий за счёт теплоты излучаемой крупным рогатым скотом. Он представляет собой оребрённую трубу, которая заполняется водой. Оребрение необходимо для увеличения поверхности теплообмена. Математические расчёты выполнялись в несколько этапов. Сначала была выбрана программа для автоматизации необходимых расчётов, затем выбраны задающие условия для математического моделирования эксперимента. В результате выполнена аппроксимация экспериментальных зависимостей температуры воды от времени нагрева при разной мощности излучателя теплоты, составлены матричные уравнения в соответствии с экспериментальными данными опытного образца устройства для нагрева воды. Для описания зависимости температуры от времени нагрева из матричных уравнений выведены полиномы. Графически отображены указанные зависимости для разных мощностей, которые

наглядно показывают, что с увеличением продолжительности нагрева растет температура воды, а сам процесс нагрева замедляется. Активный рост температуры наблюдается только в самом начале процесса.

**Keywords:** *water heating, watering, water temperature, electric energy saving, heat exchanger, heat dissipation, cattle, heat, mathematical calculation, power, heating time, heating duration.*

The study of energy consumption by agricultural enterprises revealed increased consumption of electric energy. It is obvious that a reduction in its consumption is required. A great part of electricity consumption in agricultural enterprises accounts for electric water heaters. This paper considers the types of heating devices depending on the type of heating: indirect, direct, induction, and dielectric. The analysis of scientific works of many scientists about the influence of temperature on animal productivity was carried out. It was found that water of different temperatures had different effects on the productivity of cattle, but there was still a need

for water heating. Based on the above, in order to meet the requirement to reduce the consumption of electrical energy spent on heating water, it is proposed to use a new device which is a heat exchanger that operates due to the heat emitted by cattle. It is a finned pipe that is filled with water. Finning is necessary to increase the heat exchange surface. Mathematical calculations were performed at several stages. First, a program was selected to automate the necessary calculations and then the setting conditions for mathematical modeling of the experiment were selected. As a result, the approximation of the experimental dependences of the water temperature on the heating time at different power of the heat emitter is performed; matrix equations are drawn up in accordance with the experimental data of the prototype of the device for water heating. Polynomials are derived from matrix equations to describe the dependence of temperature on heating time. These dependencies for different capacities are graphically displayed and clearly show that with increasing duration of heating increases the temperature of the water and the heating process slows down. Active temperature growth is observed only at the very beginning of the process.

**Дулупова Юлия Михайловна**, ст. преп. каф. «Электрификация и автоматизация», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: makjul92@mail.ru.

**Дулупов Дмитрий Евгеньевич**, к.т.н., доцент каф. «Электрификация и автоматизация», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: dulepov.86@mail.ru.

**Жужин Максим Сергеевич**, к.т.н., доцент каф. «Электрификация и автоматизация», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: zhuzhin001@yandex.ru.

**Александрова Алина Алексеевна**, ст. преп. каф. «Электрификация и автоматизация», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет. Тел.: (83166) 4-15-50. E-mail: alieksandrova\_1990@mail.ru.

**Dulepova Yuliya Mikhaylovna**, Asst. Prof., Chair of Electrification and Automation, Nizhniy Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: makjul92@mail.ru.

**Dulepov Dmitriy Yevgenyevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Electrification and Automation, Nizhniy Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: dulepov.86@mail.ru.

**Zhuzhin Maksim Sergeevich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Electrification and Automation, Nizhniy Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: zhuzhin001@yandex.ru.

**Aleksandrova Alina Alekseyevna**, Asst. Prof., Chair of Electrification and Automation, Nizhniy Novgorod State Engineering-Economic University. Ph.: (83166) 4-15-50. E-mail: alieksandrova\_1990@mail.ru.

## Введение

Анализ расхода энергоресурсов сельскохозяйственными предприятиями показывает, что наблюдается повышенное потребление электрической энергии. Предлагаемые меры по энергосбережению снижают её расход, но с ежегодным ростом тарифов на электроэнергию экономия денежных средств по-прежнему остаётся актуальной задачей.

При организации подготовки воды в сельскохозяйственных предприятиях используется большое количество устройств для подогрева, которые можно разделить на:

- устройства косвенного нагрева;
- устройства прямого нагрева;

- устройства индукционного нагрева;
- устройства диэлектрического нагрева.

Система горячего водоснабжения (вода, используемая для поения, технологических и санитарно-гигиенических нужд) оснащается электрическими водонагревателями ВЭТ, САОС, ЭВН, ЭВФ, ВЭО, ЭПЗ, КЭВ и др. [1].

Организация подготовки воды, предназначенной для поения, очень важная задача, стоящая перед сельскохозяйственными предприятиями. Оптимальная температура воды оказывает значительное влияние на продуктивность животных. Изучению влияния температуры воды на производительность крупного рогатого скота посвятили свои работы многие учёные [2-8].

Общеизвестно, что нагрев воды в сельскохозяйственных предприятиях осуществляется электрическими нагревателями, энергопотребление которых достаточно большое [9].

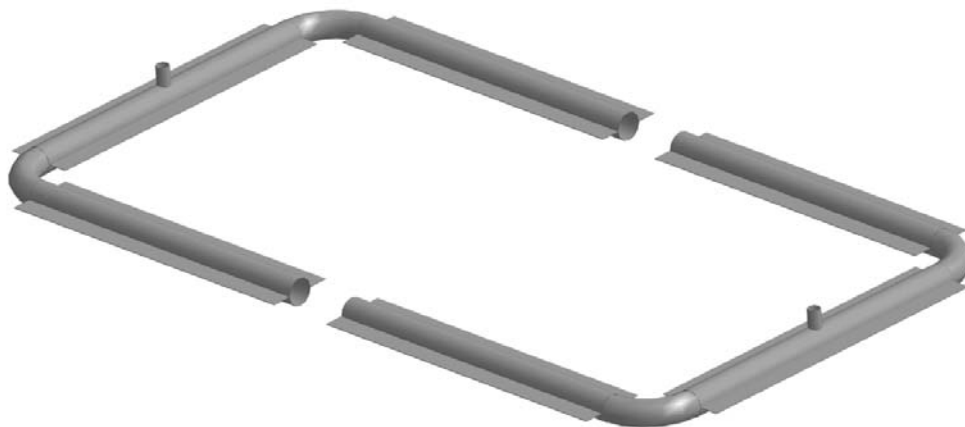
**Целью и задачей** работы является математическое исследование способности нагрева воды новым устройством (рис. 1) [10], которое можно использовать для экономии электрической энергии [11-13].

Оно представляет собой теплообменник, который принимает теплоту, производимую КРС. Сам теплообменник состоит из трубы и рёбер, увеличивающих поверхность теплообмена, а вместе с этим скорость нагрева воды, которая и заполняет трубу (рис. 2).

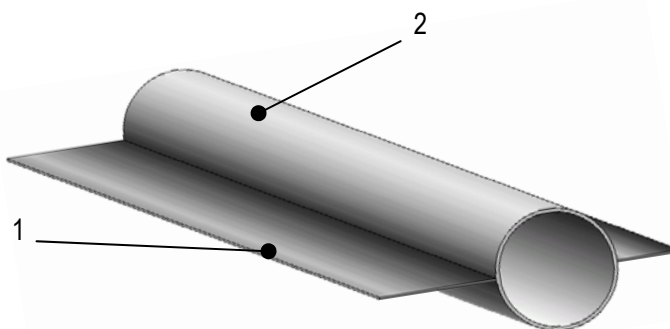
### Объекты и методы исследований

На первом этапе для проведения математических исследований была выбрана программа, которая позволила бы автоматическим расчетами выполнить ряд действий и, тем самым, упростить и ускорить время расчетов. Для данных исследований была выбрана программа Maple версия 17. Помимо проведения математических расчетов данная программа обладает функцией наглядного отображения результатов экспериментов в виде графиков и диаграмм.

Вторым этапом для проведения математических расчетов были выбраны задающие условия: температура воздуха в лабораторной установке, температура нагреваемой воды, время нагрева.



*Рис. 1. Общий вид устройства для нагрева воды*



*Рис. 2. Участок теплообменной трубы устройства для нагрева воды:  
1 – ребро; 2 – труба*

Для мощностей нагрева (тех мощностей, которые имитировали теплоту, выделяемую животными), температуры воздуха составлялись матрицы:

для времени нагрева, составившего 1 ч, при мощности 1,25 кВт, матрица выглядит:

$$t_{1,25} := \text{matrix}(4, 1, [1, 20, 40, 60]);$$

$$t_{1,25} := \begin{bmatrix} 1 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \end{bmatrix};$$

для температуры воздуха:

$$T_{1,25} := \text{matrix}(4, 1, [24.5, 38.4, 39.2, 40.1]);$$

$$T_{1,25} := \begin{bmatrix} 24.5 \\ 38.4 \\ 39.2 \\ 40.1 \end{bmatrix}.$$

Построение матриц при другой заданной мощности было выполнено аналогично.

### Результаты

Для построения математической модели работа нагревательного устройства была ограничена временными рамками: 1, 20, 40 и 60 мин. Расчеты были выполнены при помощи вычислительной программы Maple версия 17. Решая задачи, использовались четыре стандартных пакета: линейная алгебра, графики, приближение функций, расширенная графика:

*restart : with(linalg) : with(plots) :  
with(CurveFitting) : with(plottools) :*

Аппроксимация экспериментальных зависимостей температуры воды  $T$  [°C] от времени  $t$  [с],  $T(t)$  проводилась при разной мощности излучателя теплоты, имитирующего тепловыделение крупного рогатого скота ( $P = 1,25; 2,25$  кВт).

Во внимание принимался полином третьего порядка, который представлен в формуле (1):

$$T = a \cdot t^3 + b \cdot t^2 + c \cdot t + d. \quad (1)$$

Для указанных выше значений мощности  $P$  проводилась аппроксимация. Чтобы определить

четыре неизвестных параметра из формулы (№)  $a, b, c, d$ , было составлено матричное уравнение в соответствии с полученными экспериментальными данными. Таким образом, для теплоты, имитирующей тепловыделение КРС со значением 1,25 кВт, была получена система четырех уравнений в матричном виде (2):

$$\begin{pmatrix} 24,5 \\ 38,4 \\ 39,2 \\ 40,1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1^3 & 1^2 & 1 & 1 \\ 20^3 & 20^2 & 20 & 1 \\ 40^3 & 40^2 & 40 & 1 \\ 60^3 & 60^2 & 60 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Для значения мощности  $P = 2,25$  кВт система уравнений примет вид (3):

$$\begin{pmatrix} 22,8 \\ 34,7 \\ 34 \\ 35 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1^3 & 1^2 & 1 & 1 \\ 20^3 & 20^2 & 20 & 1 \\ 40^3 & 40^2 & 40 & 1 \\ 60^3 & 60^2 & 60 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Приведенные матричные системы уравнений требуют решения. Их решение будет определяться согласно уравнению:

$$M = A \cdot X. \quad (4)$$

Поиск неизвестного в уравнении (4) осуществлялось с помощью обратной матрицы  $X = A^{-1} \cdot M$  на ЭВМ.

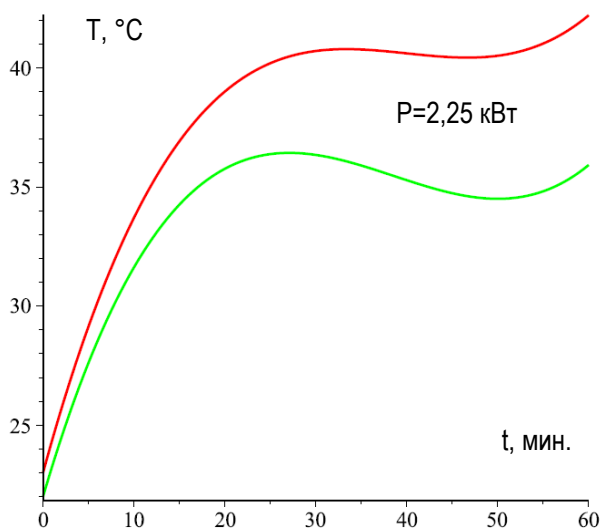
Вектор-столбец неизвестных коэффициентов  $a, b, c, d$  определен из соотношения  $X = A^{-1} \cdot M$ . Вид полиномов зависимостей  $T(t)$  для разных значений мощности нагревательных элементов  $P$ , имитирующих различное количество тепловыделения КРС, будет выглядеть:

$$T_{P=1,25} = 0,00030t^3 - 0,036t^2 + 1,4t + 23.$$

$$T_{P=2,25} = 0,00032t^3 - 0,037t^2 + 1,3t + 22.$$

Графическое изображение указанных выше зависимостей представлено на рисунке 3.

Полученные зависимости показывают, что с увеличением продолжительности нагрева растет температура воды. В самом начале зависимости наблюдается активный процесс нагрева, с ростом времени нагрева нагрев замедляется.



**Рис. 3. Зависимость температуры от времени нагрева**

### Выводы

Выполнив математические расчёты, были составлены уравнения, исходя из которых можно вычислить, какая температура воды будет получена при нагреве, на определенном этапе времени, при заданных параметрах устройства.

Математическая обработка экспериментальных данных испытаний опытного образца устройства для нагрева воды показала зависимость величины температуры воды от времени нагрева.

Интенсивность нагрева снижается с увеличением времени нагрева.

В ходе выполнения работы было выявлено, что нагрев воды, предназначенной для поения, до необходимого температурного значения выполняется. Оптимальное время нагрева зависит от количества поголовья, для которого требуется нагреть воду.

### Библиографический список

1. Осокин, В. Л. Повышение эффективности функционирования электрических подогревателей воды путём разработки стенда для их тестирования: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.20.02 / Осокин В. Л. – Княгинино, 2011. – 180 с. – Текст: непосредственный.
2. Нурминский, И. Н. Применение подогрева и циркуляции воды в установках для поения скота посредством автопоилок: диссертация на соиска-

ние учёной степени кандидата технических наук / Нурминский И. Н. – Улан-Удэ, 1975. – Текст: непосредственный.

3. Радько, В. А. Влияние температуры (питьевой) воды на продуктивность животных / В. А. Радько, Т. И. Крашенникова. – Текст: непосредственный // Научно-технический бюллетень по электрификации сельского хозяйства. – 1979. – № 3. – С. 19-22.

4. Орищенко, И. В. Обоснование параметров и режимов работы групповой автопоилки для крупного рогатого скота: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Орищенко И. В. – зерноград, 2012. – 170 с. – Текст: непосредственный.

5. Щербак, Н. А. Обоснование параметров и режимов работы систем автопоения крупного рогатого скота при стойловом содержании: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Щербак Н. А. – зерноград, 2006. – 137 с. – Текст: непосредственный.

6. Поцелуев, А. А. Ресурсосберегающие системы водообеспечения технологических процессов по обслуживанию крупного рогатого скота: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: 05.20.01 / Поцелуев А. А. – зерноград, 2011. – 441 с. – Текст: непосредственный.

7. Пономарев, Н. В. Водопотребление и продуктивность животных / Н. В. Пономарев. – Текст: непосредственный // Сельское хозяйство за рубежом. – 1984. – № 4. – С. 39-42.

8. Симонов, Г. А. Поение коров тёплой водой в зимний период повышает молочную продуктивность / Г. А. Симонов. – Текст: непосредственный // Эффективное животноводство. – 2015. – № 10 (119). – С. 52-53

9. Дулепова, Ю. М. Обоснование возможности применения нового энергосберегающего устройства для нагрева воды / Ю. М. Дулепова. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 6 (73). – С. 61-68

10. Патент на изобретение № 2684293. Устройство для нагрева воды / Макарова Ю. М., Осокин В. Л. Заявка № 2016126650.

11. Папков, Б. В. Основы теории систем для электроэнергетиков / Б. В. Папков, А. Л. Куликов. – Нижний Новгород, 2011. – 456 с. – Текст: непосредственный.

12. Кондратьева, Н. П. Разработка системы автоматического управления электрооборудованием для реализации энергосберегающих электротехнологий / Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, И. А. Баранова [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 6 (85). – С. 36-49.

13. Тихомиров, Д. А. Установка на возобновляемых источниках энергии для поддержания параметров микроклимата сельскохозяйственных объектов / Д. А. Тихомиров, С. С. Трунов, И. Г. Ершова [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 8 (99). – С. 55-65.

### References

1. Osokin, V.L. Povyshenie effektivnosti funkcionirovaniya elektricheskikh podogrevateley vody putem razrabotki stenda dlya ikh testirovaniya: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.20.02 / Osokin V.L. – Knyaginino, 2011. – 180 s.

2. Nurminskiy, I.N. Primenenie podogreva i tsirkulyatsii vody v ustanovkakh dlya poeniya skota posredstvom avtopoilok: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / Nurminskiy I.N. – Ulan-Ude, 1975.

3. Radko, V.A. Vliyanie temperatury (pitevoy) vody na produktivnost zhivotnykh / V.A. Radko, T.I. Krashennikova // Nauch.-tekhn. byul. po elektrifikatsii sel. khoz-va. – 1979. – No. 3. – S. 19-22.

4. Orishchenko, I.V. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty gruppovoy avtopoilki dlya krupnogo rogatogo skota: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.20.01 / Orishchenko I.V. – Zernograd, 2012. – 170 s.

5. Shcherbak, N.A. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty sistem avtopoeniya krupnogo

rogatogo skota pri stoylovom soderzhanii: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.20.01 / Shcherbak N.A. – Zernograd, 2006. – 137 s.

6. Potseluev, A.A. Resursosberegayushchie sistemy vodoobespecheniya tekhnologicheskikh protsessov po obsluzhivaniyu krupnogo rogatogo skota: dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: 05.20.01 / Potseluev A. A. – Zernograd, 2011. – 441 s.

7. Ponomarev, N.V. Vodopotreblenie i produktivnost zhivotnykh / N.V. Ponomarev. – Selskoe khozyaystvo za rubezhom. – 1984. – No. 4. – S. 39-42.

8. Simonov, G.A. Poenie korov teploy vodoy v zimniy period povyshaet molochnyuyu produktivnost / G.A. Simonov // Effektivnoe zhivotnovodstvo. – 2015. – No. 10 (119). – S. 52-53.

9. Dulepova, Yu.M. Obosnovanie vozmozhnosti primeneniya novogo energosberegayushchego ustroystva dlya nagreva vody / Yu.M. Dulepova // Vestnik NGIEI. – 2017. – No. 6 (73). – S. 61-68.

10. Patent na izobretenie No. 2684293. Ustroystvo dlya nagreva vody. Makarova Yu.M., Osokin V.L. Zayavka No. 2016126650.

11. Papkov, B.V., Kulikov A.L. Osnovy teorii sistem dlya elektroenergetikov / B.V. Papkov, A.L. Kulikov. – Nizhniy Novgorod: 2011. – 456 s.

12. Kondrateva, N.P. Razrabotka sistemy avtomaticheskogo upravleniya elektrooborudovaniem dlya realizatsii energosberegayushchikh elektrotekhnologiy / N.P. Kondrateva, I.R. Vladykin, I.A. Baranova, S.I. Yuran, A.I. Baturin, R.G. Bolshin, M.G. Krasnolutsкая // Vestnik NGIEI. – 2018. – No. 6 (85). – S. 36-49.

13. Tikhomirov, D.A. Ustanovka na vozobnovlyаемых источниках энергии для поддержания параметров микроклимата сelskokhozyaystvennykh ob"ektov / D.A. Tikhomirov, S.S. Trunov, I.G. Ershova, V.Yu. Ukhanova, D.V. Poruchikov // Vestnik NGIEI. – 2019. – No. 8 (99). – S. 55-65.

