



УДК 621.362:621.56:636

Д.А. Тихомиров, С.С. Трунов, И.Г. Ершова, Д.В. Поручиков
D.A. Tikhomirov, S.S. Trunov, I.G. Yershova, D.V. Poruchikov

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF A THERMOELECTRIC INSTALLATION FOR AIR DEHUMIDIFICATION IN FARM BUILDINGS

Ключевые слова: энергосбережение, обоснование параметров установки, термоэлектрическая установка, осушение воздуха, элемент Пельтье, сельскохозяйственные помещения.

Влажность воздуха в сочетании с температурным фактором сильно воздействует на санитарное состояние воздушной среды, здоровье животных их продуктивность. Одним из перспективных направлений при создании новых установок обработки воздуха является использование термоэлектрических модулей Пельтье. Цель – разработка термоэлектрической установки для осушения воздуха в сельскохозяйственных помещениях. Задачи: обосновать параметры термоэлектрической установки для осушения воздуха в сельскохозяйственных помещениях, провести лабораторные исследования установки с обоснованием ее конструктивно-режимных параметров, проверить адекватность предложенных теоретических зависимостей и экспериментальных данных, полученных при разработке установки. Объекты термоэлектрической установки для осушения воздуха, сельскохозяйственные помещения. На основе теории теплообмена произведено физическое моделирование процесса осушения воздуха. Для определения энергетического показателя – мощности, затрачиваемой на термоэлектрические модули, использовались приборы измерения силы тока и напряжения. Для проведения лабораторных исследований была изготовлена термоэлектрическая установка охлаждения (осушения) воздуха. Проведенный анализ диаграммы влажного воздуха показал, что оптимальная разность температур между охлаждаемым воздухом и холодной водой на выходе из теплообменника холодного спая термоэлектрического модуля составляет 5°C. Совокупность новых признаков, отсутствующих в известных технических решениях, позволяет достигнуть нового технического результата: повысить надежность работы осушителя воздуха сельскохозяйственных помещений и повышения холодильного коэффициента установки (отношения производимого холода к

потребленной электроэнергии). Аналитические зависимости и полученные экспериментальные данные позволяют разработать экспериментальный образец установки охлаждения (осушения) воздуха в животноводческих помещениях.

Keywords: energy-saving, substantiation of installation, thermoelectric installation, air dehumidification, Peltier element, farm buildings.

Air humidity in combination with the temperature factor strongly affects the sanitary state of the air environment, the health of animals and their productivity. One of the promising areas in the creation of new air treatment plants is the use of Peltier thermoelectric modules. The goal is to develop a thermoelectric installation for air dehumidification in farm buildings. The objectives were as following: to substantiate the parameters of a thermoelectric installation for air dehumidification in farm buildings, to conduct laboratory studies of the installation with justification of its design-mode parameters, to check the adequacy of the proposed theoretical dependencies and experimental data obtained during the development of the installation. The research target was a thermoelectric installation for air dehumidification in farm buildings. On the basis of the theory of heat exchange, a physical simulation of the air dehumidification process was carried out. To determine the energy index – the power consumed for thermoelectric modules, current and voltage measuring instruments were used. For laboratory studies, a thermoelectric air cooling (dehumidification) unit was made. The analysis of the diagram of humid air showed that the optimum temperature difference between the cooled air and cold water at the outlet of the heat exchanger of the cold junction of the thermoelectric module is 5°C. The combination of new features that are absent in the known technical solutions allows achieving a new technical result: to increase the reliability of operation of the air dehumidification unit for farm buildings and increase the refrigeration coefficient of the installation (the ratio of the cold produced to the consumed

electric power). The analytical dependencies and experimental data obtained allow developing an experimental

model of an installation for air cooling (dehumidifying) in livestock buildings.

Тихомиров Дмитрий Анатольевич, д.т.н., проф. РАН, гл. н.с. лаб. электротеплообеспечения и энергоснабжения, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. Тел.: (499) 171-05-51. E-mail: tihda@mail.ru.

Трунов Станислав Семенович, к.т.н., вед. специалист консультационно-экспертного отдела, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. E-mail: eig85@yandex.ru.

Ершова Ирина Георгиевна, к.т.н., н.с. лаб. электрофизического воздействия на с.-х. объекты и материалы, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. E-mail: eig85@yandex.ru.

Поручиков Дмитрий Витальевич, аспирант, лаб. электрофизического воздействия на с.-х. объекты и материалы, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. E-mail: dv.poruchikov@yandex.ru.

Tikhomirov Dmitriy Anatolyevich, Dr. Tech. Sci., RAS Prof., Chief Staff Scientist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow. Ph.: (499) 171-05-51. E-mail: tihda@mail.ru.

Trunov Stanislav Semenovich, Cand. Tech. Sci., Leading Specialist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow. E-mail: eig85@yandex.ru.

Yershova Irina Georgiyevna, Cand. Tech. Sci., Staff Scientist, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow. E-mail: eig85@yandex.ru.

Poruchikov Dmitriy Vitallyevich, post-graduate student, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow. E-mail: dv.poruchikov@yandex.ru.

Введение

На современных сельскохозяйственных предприятиях в результате внедрения новых промышленных технологий производства и переработки [3] продукции значительно усложнилось взаимодействие организма животных с внешней окружающей средой.

Влажность воздуха в значительной степени сказывается на терморегуляции организма животного и, в частности, на его теплоотдаче, причем высокая относительная влажность (85% и выше) отрицательно действует на организм как при высоких температурах воздуха, так и при низких.

Одним из перспективных направлений при создании новых установок обработки воздуха является использование термоэлектрических модулей Пельтье (ТЭМ), обеспечивающих построение эффективных установок для нагрева, охлаждения и осушения воздуха в установках сухого нагрева и сухого охлаждения. В связи с этим в научной литературе все чаще стала обсуждаться тема применения термоэлектричества.

Известно, что у термоэлектричества есть широкий круг источников теплоты, недоступных другим видам преобразователей, они находятся в земной поверхности, толще Мирового океана, в различных видах промышленных производств, где могут возникать даже незначительные градиенты температур, которые невозможно использовать в других типах преобразователей энергии [4].

Решить проблему борьбы с повышенной влажностью помогают осушители воздуха [5, 6].

В осушителях, основанных на технологии Пельтье, присутствует термоэлектрический преобразователь, который имеют преимущества перед компрессорными [7, 8].

Цель – разработка термоэлектрической установки для осушения воздуха в сельскохозяйственных помещениях. **Задачи:** обосновать параметры термоэлектрической установки для осушения воздуха в сельскохозяйственных помещениях, провести лабораторные исследования установки с обоснованием ее конструктивно-режимных параметров, проверить адекватность предложенных теоретических зависимостей и экспериментальных данных, полученных при разработке установки. **Объекты:** термоэлектрическая установка для осушения воздуха, сельскохозяйственные помещения.

Методы

На основе теории теплообмена произведено физическое моделирование процесса осушения воздуха. Для определения энергетического показателя – мощности, затрачиваемой на термоэлектрические модули, использовались приборы измерения силы тока и напряжения.

Результаты и их обсуждение

Процесс осушения воздуха в термоэлектрической установке показан на I-d-диаграмме влажного воздуха. Процессы нагрева и охлаждения воздуха изображаются лучами по линии d-const (рис. 1).

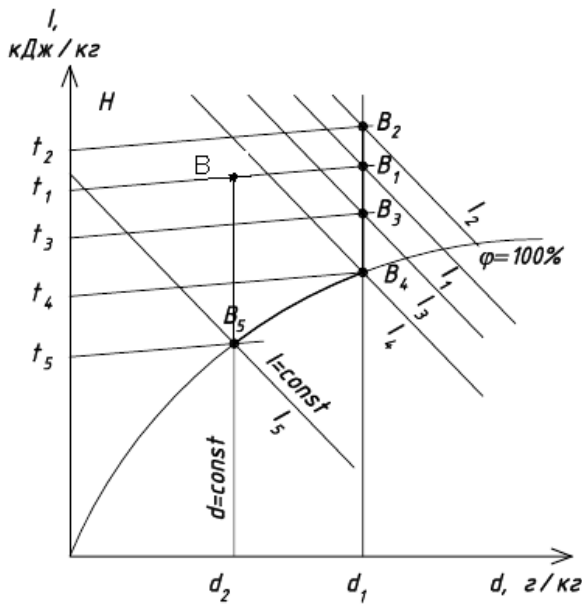


Рис. 1. Процессы сухого нагрева и охлаждения воздуха на I-диаграмме:
B₁ B₂ – сухой нагрев; B₁ B₃ – сухое охлаждение;
B₁ B₄ B₅ – охлаждение с осушением воздуха

Процесс сухого осушения воздуха заключается в том, что влажный воздух с параметрами (t₁, d₁) в точке B₁, с помощью вентилятора 5, проходя сквозь теплообменник холодного контура 3 (рис. 2), охлаждается до температуры точки росы с параметрами (t₄, d₁) в точке B₄ и ниже с параметрами (t₅, d₂) в точке B₅. При этом процесс охлаждения сопровождается выпадением конденсата из воздуха на поверхности теплообменника, в результате охлаждения воздуха сопровождается его осушением.

Для восстановления исходной температуры воздуха, но с меньшим влагосодержанием, его нужно нагреть до температуры в точке B с параметрами (t₁, d₂).

При этом энергетические характеристики процесса осушения воздуха выглядят следующим образом. Задаемся объемом воздуха L, проходящего сквозь теплообменники холодного и горячего контура, м³/ч. Принимаем это значение равным объему в 100 м³/ч, т.е. производительностью вентилятора. Такая производительность вентилятора обеспечивает однократный воздухообмен за 5 ч в характерном помещении (например, профилакторий для телят с габаритными размерами 6 на 12 м в плане и высотой 4 м). Для этого можно применить осевой вентилятор серии DEKOR, у которого L=100 м³/ч.

Расчет холодного контура. Расход холода Q_{ох} на охлаждение воздуха с осушением объемом

L_x от состояния B₁ до состояния B₄ B₅ в теплообменнике 3 холодного контура определяется из выражения

$$Q_{ох} = L_{ох} \times c \times \gamma \times (t_1 - t_5), \quad (1)$$

где L_{ох} – объем воздуха, проходящего сквозь живое сечение теплообменника холодного контура, м³/ч;

c – теплоемкость воздуха, Дж/кг °С;

γ – объемный вес воздуха, кг/м³;

t₁, t₅ – температура воздуха, соответственно, в точке B₁ и B₅.

Расчетное значение температуры воздуха на входе в охладитель (t₁ численно равно максимально допустимому значению температуры воздуха внутри помещения (например +20°С).

Потребное живое сечение теплообменника охладителя воздуха 3 определяется из выражения

$$F_{в\ ох} = L_{ох} / [3600(\gamma_{в\ вк})], \quad (2)$$

где (γ_{в вк}) – массовая скорость воздуха через теплообменник, кг/(м² с).

Рекомендуется массовая скорость воздуха не больше 2,5 кг/(м²с), иначе происходит проскок (срыв) капель воды с поверхности теплообменника [9]. Необходимо выбрать тип теплообменника-осушителя и отметить площадь его живого сечения по воздуху [10]. После выбора марки теплообменника охладительной установки рассчитывается расход воды по каналам теплообменника w_{вод} (м/с). Она определяется по выражению:

$$w_{вод} = Q_{ох} / [3600 \gamma_{вод} c_{вод} F_{вод\ ох} (t_{вод\ к} - t_{вод\ н})], \quad (3)$$

где γ_{вод} – плотность воды, кг/м³

F_{вод ох} – сечение каналов для прохода холодной воды, м²;

c_{вод} – удельная теплоёмкость воды, кДж/кг °С;

t_{водк} – температура воды на выходе из теплообменника, °С;

t_{водн} – температура воды на входе в теплообменник, °С;

t_{водк} – t_{водн} = Δ t_{ох} – перепад температуры воды в теплообменнике.

По данным исследований [11] для эффективного охлаждения воды в теплообменниках термoeлектрического модуля расход воды должен быть не более 0,006 л/с.

Величина начальной температуры воды на входе в теплообменник охладителя t_{водн} должна быть ≤ температуры воздуха t₅.

Перепад Δt_{ох} начальной и конечной температурами воды в режиме охлаждения, как правило, ограничивается 4-8°С, что обеспечивает опти-

мальные условия теплообмена [10]. Учитывая это условие, расход холодной воды $G_{\text{вод ох}}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$) через теплообменник для получения расчётного количества холода $Q_{\text{ох}}$ можно определить из уравнения:

$$G_{\text{вод ох}} = 3600Q_{\text{ох}} / [\gamma c_{\text{вод}}(t_{\text{вод к}} - t_{\text{вод н}})], \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (4)$$

Площадь поверхности теплообменника $F_{\text{ох}}$ (м^2) воздухоохлаждителя определим по выражению [6]:

$$F_{\text{ох}} = 10^3 Q_{\text{ох}} / (k_{\text{ох}} \Delta t), \text{ м}^2, \quad (5)$$

где $k_{\text{ох}}$ – коэффициент теплопередачи воздухоохлаждителя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$;

$\Delta t = t_{\text{вод к}} - t_{\text{вод н}}$ – температурный напор в воздухоохлаждителе, $^\circ\text{C}$.

Если отношение $\Delta t_{\text{max}}/\Delta t_{\text{min}} < 1,7$, то температурный напор определяют как среднеарифметическую разность температур

$$\Delta t = 0,5(\Delta t_{\text{max}} + \Delta t_{\text{min}}), \quad (6)$$

где $\Delta t_{\text{max}} = t_{\text{возд н}} - t_{\text{вод к}}$ и $\Delta t_{\text{min}} = t_{\text{возд к}} - t_{\text{вод н}}$ – большая и меньшая разность температур воздуха и воды.

Если это отношение больше 1,7, то температурный напор находят как среднелогарифмическую разность температур воздуха и воды.

$$\Delta t = (\Delta t_{\text{max}} - \Delta t_{\text{min}}) / 2,3 \lg(\Delta t_{\text{max}}/\Delta t_{\text{min}}).$$

Коэффициент теплопередачи определяют по эмпирическому выражению

$$K_{\text{ох}} = A(\gamma_{\text{в вк}})^B W_{\text{вод}}^B, \quad (7)$$

где A , B и V – постоянные коэффициенты для соответствующих марок теплообменников [10].

Таким образом, для того чтобы не нарушить тепловой баланс помещения, осушенный, но охлажденный воздух помещения в теплообменнике 3 холодного контура необходимо нагреть, т.е. из точки B_5 (рис. 2) с параметрами (t_5, d_2) переместиться в точку B с параметрами (t_1, d_2) .

При этом расход теплоты Q_r в теплообменнике 7 горячего контура, затраченной на нагрев воздуха объёмом L_r от состояния B_5 с параметрами (t_5, d_2) до состояния в точке B с параметрами (t_1, d_2) , определяется по уравнению

$$Q_r = L_r \times c \times \gamma \times (t_1 - t_5). \quad (8)$$

Разность температуры $\Delta t_{\text{ох}} = t_1 - t_5$ численно равна $\Delta t_r = t_1 - t_5$, следовательно, расходы теплоты на охлаждение и последующий нагрев воздуха помещения в установке при $L_{\text{ох}} = L_r$ будут равными. Отсюда параметры теплообменника горячего контура должны быть аналогичными с параметрами теплообменника холодного контура.

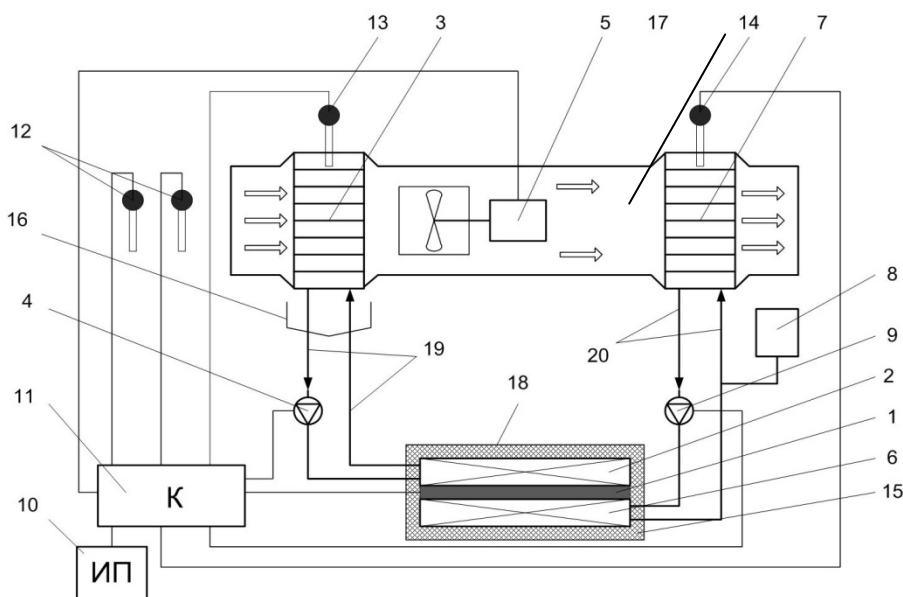


Рис. 2. Схема термоэлектрического осушителя воздуха помещений сельскохозяйственного назначения:

- 1 – термоэлектрический модуль; 2 – теплообменник холодного спая; 3 – теплообменник холодного контура; 4 – циркуляционный насос; 5 – электровентилятор; 6 – теплообменник горячего спая; 7 – теплообменник горячего контура; 8 – расширительный бак; 9 – циркуляционный насос горячего контура; 10 – источник питания термоэлектрических модулей; 11 – микроконтроллер; 12 – датчики температуры и влажности в помещении; 13 – датчик температуры на холодной стороне термоэлектрического модуля; 14 – датчик температуры на горячей стороне термоэлектрического модуля; 15 – корпус термоэлектрического блока с тепловой изоляцией; 16 – поддон; 17 – корпус-труба; 18 – термоэлектрический блок; 19-20 – трубопроводы холодного и горячего контура

В настоящее время разработано большое количество конструкций устройств с термоэлектрическим модулем [12-14].

Теплообмен между термоэлектрическим модулем, как с горячей, так и с холодной стороны, и осушаемым воздухом осуществляется с помощью теплообменников, установленных в помещении. Сам термоэлектрический блок вынесен из помещения, где происходит осушение воздуха, а передача тепловой энергии теплообменникам осуществляется с помощью промежуточного теплоносителя (воды), циркулирующего по трубопроводам с помощью циркуляционного насоса (рис. 2).

Выводы

Получена энергетическая характеристика термоэлемента в виде холодильного коэффициента в зависимости от мощности, потребляемой из сети (при расходе холодной воды $q_x=0,54$ л/мин., а горячей $q_g=1,8$ л/мин.). С ростом мощности за счет джоулевых потерь холодильный коэффициент уменьшается.

Получена зависимость разности температур охлаждаемой жидкости от расхода жидкости, циркулирующей по контуру охлаждения. Проведенный анализ id диаграммы влажного воздуха показал, что оптимальная разность температур между охлаждаемым воздухом и холодной водой на выходе из теплообменника холодного спая термоэлектрического модуля составляет 5°C , расход воды равен $0,54$ л/мин.

Библиографический список

1. Belova M.V., Novikova G.V., Ershova I.G., Ershov M.A., Mikhailova O.V. (2016). Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (6): 1269-1277.
2. Родионова А.В., Боровков М. С., Ершов М.А. Обоснование выбранной частоты электромагнитных излучений при физиопрофилактике крольчат // НИВА ПОВОЛЖЬЯ. – 2012. – № 1 (22). – С. 108-110.
3. Пат. 2599489 Российская Федерация. Средство для обработки вымени коров / Г.А. Ларионов, М.А. Ершов, О.Н. Дмитриева, Н.И. Ендиеров, Е.С. Ятрушева, М.А. Сергеева. – № 2015135573; заявл. 21.08.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28. – 4 с.: ил.
4. Вишневский Е.П. Анализ использования основных методов осушения воздуха // Технический бюллетень. – 2003. – № 1. – С. 4-6.

5. Растимешин С.А., Трунов С.С. Энергосберегающие системы и технические средства отопления и вентиляции животноводческих помещений. – М.: ФГБНУ ВИЭСХ, ООО «САМ Полиграфист», 2016. – 180 с., ил.

6. Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрические осушители воздуха в сельскохозяйственных помещениях. Наука в центральной России. – 2018. – № 2. – С. 51-59.

7. Шостаковский П.А. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской промышленности и бытовой техники. Компоненты и технологии. – 2010. – № 1.

8. Баукин В.Е., Вялов А.П., Гершберг И.А. и др. Оптимизация термоэлектрических генераторов большой мощности // Термоэлектрики и их применения: доклады VIII Межгосударственного семинара (ноябрь 2002 г.). – СПб.: ФТИ, 2002.

9. Дектярев Н.В., Баркалов Б.В., Архипов Г.В. Павлов Р.В. Кондиционирование воздуха. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре. – 518 с.

10. Лебедь А.А. Микроклимат животноводческих помещений. – М.: Колос, 1984. – 199 с.

11. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н., Филонov Р.Ф. Применение термоэлектрических модулей в пастеризационно-охладительных установках для обработки жидких пищевых продуктов: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2011. – 88 с.

12. Anutosh Chakraborty. Thermoelectric Cooling Devices: Thermodynamic Modelling and Their Application in Adsorption Cooling Cycles / A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. – 2005. – 242 p.

13. Huang, Bin-Juine & Chin, C.J & Duang, C.L. (2000). Design method of thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration*. 23 (3): 208-218.

14. Manoj B. Dhawade, Ekta Mourya, Anurag Yadav, David Samuel, Suprabhat A. Mohod, Vaibhav N. Deshpande (2015). Review on portable solar thermoelectric refrigerator cum air cooler. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*. 4 (10): 44-58.

References

1. Belova M.V., Novikova G.V., Ershova I.G., Ershov M.A., Mikhailova O.V. (2016). Innovations in Technologies of Agricultural Raw Materials Processing. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (6): 1269-1277.

2. Rodionova A.V., Borovkov M.S., Ershov M.A. Obosnovanie vybrannoi chastoty elektromagnitnykh izlucheni pri fizioprofilaktike krolchat // Niva Povolzha. – 2012. – No. 1 (22). – S. 108-110.
3. Pat. 2599489 Rossiiskaya Federatsiya. Sredstvo dlya obrabotki vymeni korov / G.A. Larionov, M.A. Ershov, O.N. Dmitrieva, N.I. Endierov, E.S. Yatrusheva, M.A. Sergeeva. Zayavka No. 2015135573; zayavl. 21.08.2015; opubl. 10.10.2016. Byul. No. 28. – 4 s.: il.
4. Vishnevskii E.P. Analiz ispolzovaniya osnovnykh metodov osusheniya vozdukh // Tekhnicheskii byulleten. – 2003. – No. 1. – S. 4-6.
5. Rastimeshin S.A., Trunov S.S. Energoberegayushchie sistemy i tekhnicheskie sredstva otopeniya i ventilyatsii zhivotnovodcheskikh pomeshchenii. – M.: FGBNU VIESKh, OOO «SAM Poligrafist», 2016. – 180 s., il.
6. Trunov S.S., Tikhomirov D.A. Termoelektricheskie osushiteli vozdukh v selskokhozyaistvennykh pomeshcheniyakh // Nauka v Tsentralnoi Rossii. – 2018. – No. 2. – S. 51-59.
7. Shostakovskii P.A. Sovremennye resheniya termoelektricheskogo okhlazhdeniya dlya radioelektronnoi, meditsinskoi promyshlennosti i bytovoii tekhniki // Komponenty i tekhnologii. – 2010. – No. 1.
8. Baukin V.E., Vyalov A.P., Gershberg I.A. i dr. Optimizatsiya termoelektricheskikh generatorov bolshoi moshchnosti // Termoelektriki i ikh primeneniya. Doklady VIII Mezhdgosudarstvennogo seminar (noyabr 2002 g.). – SPb.: FTI, 2002.
9. Dektyarev N.V., Barkalov B.V., Arkhipov G.V., Pavlov R.V. Konditsionirovanie vozdukh. – M.: Gosudarstvennoe izdatelstvo literatury po stroitelstvu i arkhitekture. – 518 s.
10. Lebed A.A. Mikroklimat zhivotnovodcheskikh pomeshchenii. – M.: Kolos, 1984. – 199 s.
11. Kirsanov V.V., Kravchenko V.N., Filonov R.F. Primenenie termoelektricheskikh modulei v pasterezatsionno-okhladitelnykh ustanovkakh dlya obrabotki zhidkikh pishchevykh produktov: monografiya. – M.: FGOU VPO MGAU, 2011. – 88 s.
12. Anutosh Chakraborty. Thermoelectric Cooling Devices: Thermodynamic Modelling and Their Application in Adsorption Cooling Cycles / A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore. – 2005. – 242 p.
13. Huang, Bin-Juine & Chin, C.J & Duang, C.L. (2000). Design method of thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration*. 23 (3): 208-218.
14. Manoj B. Dhawade, Ekta Mourya, Anurag Yadav, David Samuel, Suprabhat A. Mohod, Vaibhav N. Deshpande (2015). Review on portable solar thermoelectric refrigerator cum air cooler. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*. 4 (10): 44-58.



УДК 621.311

А.К. Корякин, Г.Е. Кокиева
A.K. Koryakin, G.Ye. Kokiyeva

ПРОЦЕСС РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В РАЙОНАХ СЕВЕРА

THE DEVELOPMENT OF ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM IN THE NORTHERN REGIONS

Ключевые слова: прогнозирование, уровни энергопотребления, электроснабжение, перспективы развития, районная энергосистема, резервная мощность, распределительные сети, объединение узлов, системообразующие сети, электроснабжение, электрическая энергия, имитационный подход, централизация, социально-экономическое воздействие, эффективность, населенный пункт.

Задача обоснования целесообразности использования электроэнергии для целей теплоснабжения относится к комплексным региональным проблемам развития энергетики. Применение электроэнергии для целей теплоснабжения является одним из направлений решения

проблемы теплоснабжения потребителей в средних и небольших промышленных узлах, ликвидации мелких и, в большинстве случаев, неэкономичных котельных. Для каждого набора исходной информации, характеризующей местные условия функционирования узлов, рассматриваются два альтернативных варианта электроснабжения: изолированная работа энергоузлов и объединенная при снижении линии связи. При разработке нормативно-методических материалов по прогнозированию энергопотребления северных регионов территорий необходим более полный учёт региональных особенностей, специфических условий развития экономики и энергоснабжающих систем. При разработке рациональной схемы электроснабжения в исследовании перспектив