



УДК 631:628.8

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ФЕРМЫ КРС

THE USE OF THERMOELECTRIC HEAT PUMP IN TECHNOLOGICAL PROCESSES ON A CATTLE FARM

Ключевые слова: энергосбережение, ферма крупного рогатого скота, термоэлектрический тепловой насос, элемент Пельтье, сельскохозяйственные помещения.

Рассмотрен вопрос совершенствования систем теплоснабжения и вентиляции, направленного на снижение расхода энергии, затрачиваемой на создание и поддержание требуемого микроклимата в помещениях. Разработана схема инновационной энергосберегающей установки для нагрева воды для поения животных и подачи воздуха для тепловой завесы с использованием термоэлектрических тепловых насосов (термоэлектрических модулей Пельтье). Воздушно-тепловые завесы – это оборудование, позволяющее сохранять оптимальный микроклимат в помещениях, дверные проемы и ворота которых выходят на открытый воздух. Установлено, что применение воздушно-тепловых завес является эффективным способом снижения расхода энергии на поддержание микроклимата. Для эффективной работы термоэлектрической установки нагрева воздуха в воздушно-тепловой завесе контур охлаждения, абсорбирует тепловую энергию из удаляемого вентиляционного воздуха. Полученная энергия с помощью «электронного ветра» передается на горячий контур термоэлектрического модуля и выполняет функцию теплового насоса, перекачивая тепловую энергию из

вентиляционного воздуха в воду для поения животных, т.е. в другую технологическую субстанцию.

Keywords: energy-saving, cattle farm, thermoelectric heat pump, Peltier element, farm buildings.

This paper discusses the issue of improving heat supply and ventilation systems aimed at reducing the energy consumption spent on creating and maintaining the required microclimate in farm buildings. The scheme of an innovative energy-saving installation for heating water for animal watering and air supply for a thermal curtain using thermoelectric heat pumps (Peltier thermoelectric modules) was developed. Air-curtains are the equipment that allows maintaining an optimal microclimate in rooms where the doorways and gates are open to the air outside. It has been found that the use of air-thermal curtains is an effective way to reduce energy consumption for maintaining the microclimate. For the efficient operation of the thermoelectric air heating unit in the air-heat curtain, the cooling circuit absorbs thermal energy from the removed ventilation air. The obtained energy is transferred via the “electronic wind” to the hot circuit of the thermoelectric module and acts as a heat pump transferring thermal energy from the ventilation air to water for animals to drink, i.e. to another technological substance.

Тихомиров Дмитрий Анатольевич, д.т.н., профессор 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.

Tikhomirov Dmitriy Anatolyevich, Dr. Tech. Sci., Professor of Rus. Acad. of Sci., Chief Staff Scientist, Lab. of Power and Heat Supply, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow. Ph.: (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. Тел.: (499) 171-05-51. E-mail: eig85@yandex.ru.

Ершова Ирина Георгиевна, к.т.н., с.н.с. лаб. электрофизического воздействия на сельскохозяйственные объекты и материалы, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва. Тел.: (499) 171-05-51. E-mail: eig85@yandex.ru.

Trunov Stanislav Semenovich, Cand. Tech. Sci., Leading Specialist, Advice and Expert Division, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow. Ph.: (499) 171-05-51. E-mail: eig85@yandex.ru.

Yershova Irina Georgiyevna, Cand. Tech. Sci., Senior Staff Scientist, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow. Ph.: (499) 171-05-51. E-mail: eig85@yandex.ru.

Введение

Создание и поддержание микроклимата в помещениях для содержания животных является энергоемким технологическим процессом [1, 2], на который затрачивается до 60% тепловой энергии, потребляемой на фермах крупного рогатого скота (КРС) [3].

Совершенствование систем отопления и вентиляции, направленное на снижение расхода энергии, затрачиваемой на создание и поддержание требуемого микроклимата в помещениях, является актуальной задачей [4, 5].

Разработаны системы поддержания параметров микроклимата помещений сельскохозяйственных объектов [15].

При работе системы микроклимата по поддержанию заданного температурно-влажностного режима в помещении значительное количество тепловой энергии расходуется на нагрев инфильтрующегося воздуха, поступающего в помещение через щели ворот, дверных и оконных проемов [3].

Эти тепловые потери учитываются в тепловом балансе при определении мощности системы отопления животноводческого объекта [6].

Однако кроме этих путей проникновения инфильтрата в помещения животноводческих объектов холодный воздух проникает через открытые ворота, что обусловлено различными технологическими процессами (въезд в помещение мобильных кормораздатчиков и т.п.).

Такая ежедневная достаточно длительная по времени операция сопровождается поступлением в помещение большого количества холодного наружного воздуха, что вызывает резкое падение температуры внутреннего воздуха, особенно в зоне вблизи ворот.

Расход энергии, затрачиваемый отопительными микроклиматическими установками на компенсацию этого внешнего возмущения, существующими методиками расчета теплового баланса животноводческих помещений, как правило, не учитывается. Поэтому реальный годовой расход тепловой энергии на поддержание нормируемого микроклимата существенно выше расчетного [7].

Технические мероприятия, имеющие целью ограничения количества и необходимости подогрева поступающего через открытые ворота наружного воздуха, являются одним из перспективных направлений энергосбережения в системах поддержания микроклимата в животноводческих помещениях.

Это достигается устройством тамбуров и воздушно-тепловых завес в открытом проеме ворот.

Одним из перспективных направлений при создании новых установок, позволяющих значительно экономить затраты энергии на обработку воздуха, является использование термоэлектрических тепловых насосов, в основе которых лежит использование термоэлектрических модулей Пельтье (ТЭМ),

обеспечивающих построение эффективных установок для нагрева, охлаждения и осушения воздуха в помещениях сельскохозяйственного назначения [17].

В настоящее время разработка различных термоэлектрических устройств, в том числе и для обработки воздуха, ведется на основе освоенных и выпускаемых промышленностью стандартных термоэлектрических модулей, являющихся компактными тепловыми насосами, которые поглощают тепловую энергию, с одной стороны, и рассеивают ее с другой [18].

В зависимости от предназначения, плотности отводимого потока и способа обмена тепловыми потоками между объектом и внешней средой термоэлектрические установки могут быть построены по следующим основным схемам: «воздух – воздух» или «воздух – жидкость – жидкость – воздух» или их комбинациях.

При этом тепло с холодной и горячей стороны ТЭМ по схеме «воздух – жидкость – жидкость – воздух» отводится с помощью прилегающих к ним теплообменников, по которым циркулирует теплоноситель (жидкость), а отводится тепло с помощью жидкостных радиаторов, снабженных вентиляторами для сброса тепла в окружающую среду или другими подобными теплообменниками.

Поскольку выходной продукцией фермы КРС является молоко, то рассмотрим, как влияет на продуктивность температура питьевой воды.

Молоко на 90% состоит из воды, поэтому огромное влияние на продуктивность животного оказывает то, сколько воды оно потребляет, какой температуры и сколько энергии тратит на подогрев воды до температуры тела. Для производства 1 л молока корове требуется выпить от 3 до 5 л воды, а

это значит, что высокопродуктивная корова потребляет до 150 л воды в сутки. Вода – это самый дешевый корм. Свободный доступ к воде может увеличить продуктивность коров на 7-8% без каких-либо дополнительных затрат. Сокращение же потребления воды, например, на треть, снижает надои примерно на 25%. Оптимальной считается температура воды от +10 до +16°C. При данной температуре животное потребляет максимальное количество воды и не тратит лишнюю энергию кормов на согрев воды до температуры тела, а тратит ее на производство молока [14].

Актуальность проблемы

В настоящее время для приготовления воды с температурой 14-16°C используются проточные электрические водонагревательные установки. При этом расходуется значительное количество электроэнергии и денежных средств.

Относительно воздушно-тепловых завес можно сказать, что в своем большинстве воздушно-тепловые завесы на фермах КРС не применяются.

Цель исследований – создание инновационной энергосберегающей установки для нагрева воды для поения животных и подачи воздуха для тепловой завесы с использованием термоэлектрических тепловых насосов.

Материалы и методы исследования

Анализируя архитектурно планировочные решения различных помещений сельскохозяйственного назначения, можно сказать, что в открытые проемы ворот и дверей холодные потоки воздуха могут свободно проникать в помещения. При этом в холодное время года это вызовет существенное понижение температуры внутреннего воздуха в рабочей зоне.

Воздушно-тепловые завесы – это оборудование, позволяющее сохранять оптимальный микроклимат в помещениях, дверные проемы и ворота которых выходят на открытый воздух.

В последние годы применение тепловых завес стало массовым, они устанавливаются в депо, промышленных предприятиях, складских помещениях, торговых помещениях, общественных учреждениях, офисах и т.д. [16].

Использование тепловых завес позволяет избежать потерь тепла при открывании ворот и входных дверей, сделав работу внутренней отопительной системы более экономичной.

На рисунке представлена схема установки для подогрева питьевой воды и нагрева воздуха для тепловой завесы с использованием термоэлектрического теплового насоса (модулей Пельтье).

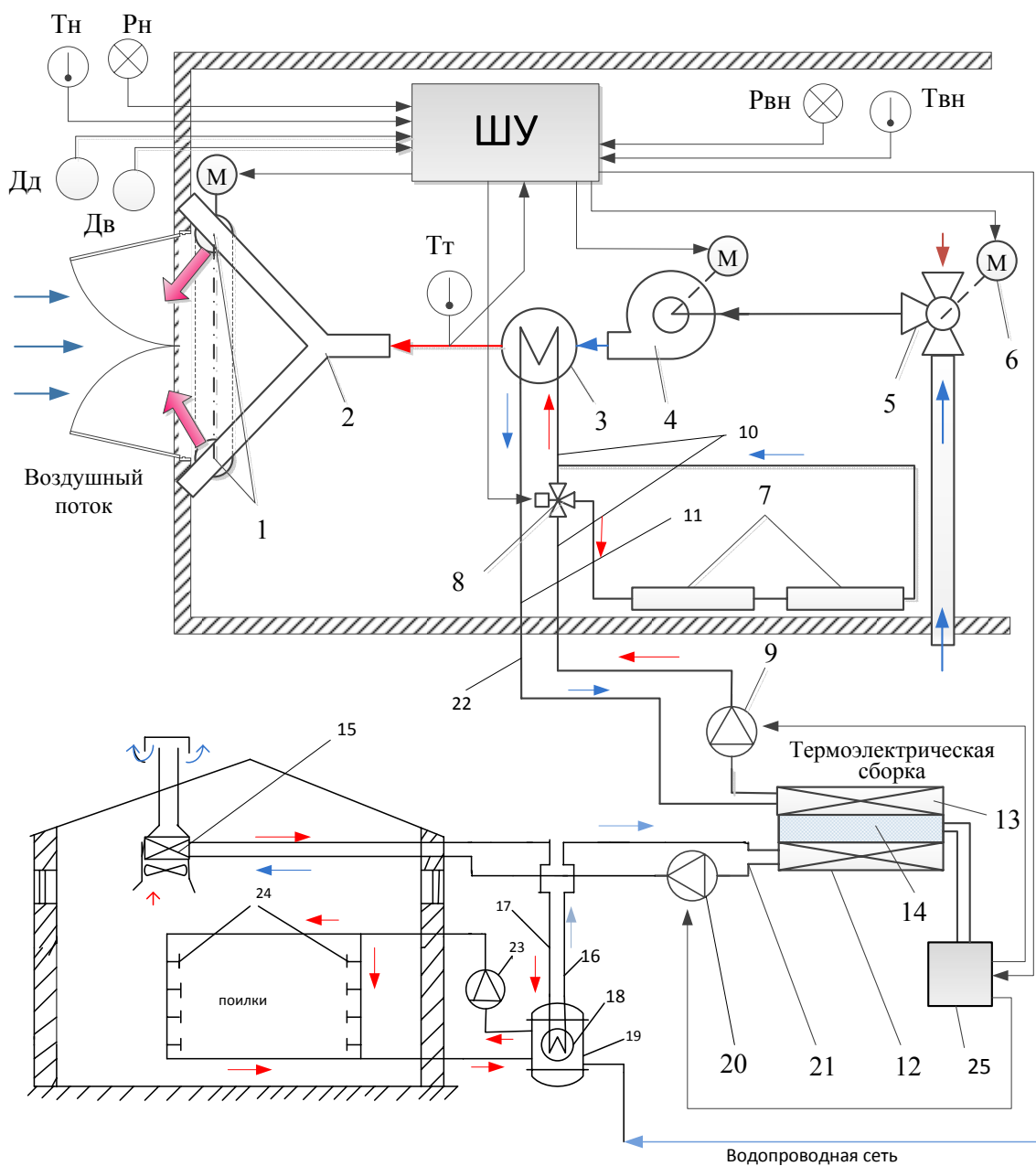


Рис. Схема установки теплового насоса в коровнике

Схема включает в себя следующие элементы.

Горячий контур включает в себя: 1 – электропривод управления воротами; 2 – воздухораспределители воздушной завесы; 3 – калорифер (теплообменник горячего контура); 4 – электровентилятор; 5 – распределитель воздухозабора; 6 – электропривод распределителя воздухозабора; 7 – отопительные приборы (радиаторы, конвекторы); 8 – охладитель молока; 9 – циркуляционный насос горячего контура; 10 – бак-аккумулятор; 11 – регулятор давления теплоносителя.

Холодный контур установки позволяет осуществлять ассимиляцию теплоты удаляемого из коровника вентиляционного воздуха и использование ее для нагрева воды в технологическом процессе поения животных.

Холодный контур включает в себя следующие элементы: 12 – теплообменник холодного спая, 13 – теплообменник горячего спая, 14 – термоэлектрический модуль Пельтье; 15 – теплообменник холодного контура с электровентилятором; 16 – трубопровод; 17 – трубопровод; 18 – промежуточный теплообменник, 19 – бойлер; 20 – циркуляционный насос; 21 – трубопровод; 22 – трубопровод (находится в горячем контуре), 23 – циркуляционный насос в контуре поения коров; 24 – автопоилки; 25 – блок питания термоэлектрических модулей.

Термоэлектрические модули 14 присоединены к блоку питания 25 и щиту управления ЩУ.

Выводы

1. В качестве альтернативного источника тепловой энергии при разработке воздушно-тепловых завес и установок для приготовления питьевой воды для животноводческих помещений (коровников, телятников, доиль-

но-молочных блоков) используется термоэлектрический тепловой насос, представляющий собой высокотехнологичные, экологически безопасные, компактные и бесшумные термоэлектрические модули, встраиваемые в теплообменники с образованием горячих и холодных контуров, по которым циркулирует теплоноситель.

2. Для повышения энергетической эффективности установки используется как горячая, так и холодная стороны термоэлектрических модулей, что вдвое увеличивает к.п.и. термоэлектрической установки, а за счет применения теплового насоса существенно уменьшается расход энергии на нагрев воды для поения.

Библиографический список

1. Тихомиров, Д. А. Энергосберегающие электрические средства и системы теплообеспечения основных технологических процессов в животноводстве / Д. А. Тихомиров. – Текст: непосредственный // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 8 (63). – С. 129-138.
2. Чувашов, В. И. Анализ эффективности применения на животноводческих фермах техники для микроклимата / В. И. Чувашов. – Текст: непосредственный // Вестник ВНИИМЖ. – 2015. – № 4 (20). – С. 230-232.
3. Трунов, С. С. Термоэлектрическое осушение воздуха в сельскохозяйственных помещениях / С. С. Трунов, Д. А. Тихомиров. – Текст: непосредственный // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 51-59.
4. Tikhomirov, D., Vasilyev, A., Budnikov, D., Vasiliev, A. (2019). Energy-saving automated system for microclimate in agricultural premises with utilization of ventilation air. *Wireless Networks*. 10.1007/s11276-019-01946-3.
5. Тихомиров, Д. А. Энергосберегающие электрические средства и системы тепло-

обеспечения технологических процессов в животноводстве / Д. А. Тихомиров. – Текст: непосредственный // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2017. – № 4 (24). – С. 15-23.

6. Тихомиров, Д. А. Программный проект для расчета потребной мощности теплоэнергетического оборудования и годового расхода тепловой энергии на объектах животноводства / Д. А. Тихомиров. – Текст: непосредственный // Вестник ВИЭСХ. – 2013. – № 1 (10). – С. 47-50.

7. Растимешин, С. А. Энергосберегающие системы и технические средства отопления и вентиляции животноводческих помещений / С. А. Растимешин, С. С. Трунов. – Москва: ВИЭСХ, 2016. – 180 с. – Текст: непосредственный.

8. Эльтерман, В. Н. Воздушные завесы / В. Н. Эльтерман. – Москва: Машиностроение, 1966. – 165 с. – Текст: непосредственный.

9. Johnson, D.A., Cuaderno, F.R., Jones, B. (2015). Air Curtains as alternatives to Vestibules. *Building Safety Journal Online*. June, pp. 34-36.

10. Frank, D., Linden, P. (2014). The effectiveness of an air curtain in the doorway of a ventilated building. *Journal of Fluid Mechanics*. 756. 130-164. 10.1017/jfm.2014.433.

11. Григорьев, А. Ю. Аэро-и термодинамические процессы в проемах, оборудованными тепловыми завесами / А. Ю. Григорьев, И. А. Рубцов. – Текст: непосредственный // Вестник МАХ. – 2014. – № 1 (50). – С. 24-26.

12. Traboulsi, S., Hammoud, A., Khalil, M. (2009). Effects of jet inclination angle and geometrical parameters on air curtain performance. *ASHRAE Transactions*. 115. 617-629.

13. Отопление и вентиляция: учебник для вузов. Ч. 2 Вентиляция / под редакцией В. Н. Богословского. – Москва: Стройиздат, 1976. – 439 с. – Текст: непосредственный.

14. Бабий, С. А. Влияние поения на удои / С.А. Бабий. – Текст: электронный // Животноводство. – 2012. – № 1. – URL: <https://www.agri-news.ru/zurnal/2012/%E2%84%961/2012/zivotnovodstvo/vliyanie-roeniya-na-udoj.html> (дата обращения: 18.11.2019).

15. Giedrius G., Ershova I.G., Vasilyev A.N., et al. Energy saving system based on heat pump for maintain microclimate of the agricultural objects: Energy saving system for agriculture // *Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development*. The United States of America: IGI Global. 2019. P. 60-84.

16. Bulat L.P., Iordanishvily E.K., Pustovalov A.A., Fedorov M.I. Thermoelectricity in Russia: history and modern state // *Journal of Thermoelectricity*. 2009. No. 4. P. 7-31.

17. Bulat L.P., Osvenskii V.B., Parkhomenko Yu.N., Pshenay-Severin D.A. // *Journal of Electronic Materials*. 2016, V. 45. P. 1648-1653.

18. Goldsmid H.J. Introduction to Thermoelectricity. Second Edition. Springer series in Materials Science, 2016. – 278 p.

References

1. Tikhomirov D.A. Energoberegayushchie elektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya osnovnykh tekhnologicheskikh protsessov v zivotnovodstve // *Vestnik NGIEI*. – 2016. – No. 8 (63). – S. 129-138.

2. Chuvashov V.I. Analiz effektivnosti primeneniya na zivotnovodcheskikh fermakh tekhniki dlya mikroklimata // *Vestnik VNIIMZh*. – 2015. – No. 4 (20). – S. 230-232.

3. Trunov S.S., Tikhomirov D.A. Termoelktricheskoe osushenie vozdukh v selskokhozyaystvennykh pomeshcheniyakh // *Nauka v tsentralnoy Rossii*. – 2018. – No. 2 (32). – S. 51-59.
4. Tikhomirov, D., Vasilyev, A., Budnikov, D., Vasiliev, A. (2019). Energy-saving automated system for microclimate in agricultural premises with utilization of ventilation air. *Wireless Networks*. 10.1007/s11276-019-01946-3.
5. Tikhomirov D.A. Energoberegayushchie elektricheskie sredstva i sistemy teploobespecheniya tekhnologicheskikh protsessov v zhivotnovodstve // *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. – 2017. – No. 4 (24). – S. 15-23.
6. Tikhomirov D.A. Programmnyy proekt dlya rascheta potrebnoy moshchnosti teploenergeticheskogo oborudovaniya i godovogo raskhoda teplovoj energii na obektakh zhivotnovodstva // *Vestnik VIESKh*. – 2013. – No. 1 (10). – S. 47-50.
7. Rastimeshin S.A., Trunov S.S. Energoberegayushchie sistemy i tekhnicheskie sredstva otopleniya i ventilyatsii zhivotnovodcheskikh pomeshcheniy. – Moskva: VIESKh, 2016. – 180 s.
8. Elterman V.N. *Vozdushnye zavesy*. – Moskva: Mashinostroenie, 1966. – 165 s.
9. Johnson, D.A., Cuaderno, F.R., Jones, B. (2015). Air Curtains as alternatives to Vestibules. *Building Safety Journal Online*. June, pp. 34-36.
10. Frank, D., Linden, P. (2014). The effectiveness of an air curtain in the doorway of a ventilated building. *Journal of Fluid Mechanics*. 756. 130-164. 10.1017/jfm.2014.433.
11. Grigorev A.Yu., Rubtsov I.A. Aero- i termodinamicheskie protsessy v proemakh, oborudovannymi teplovymi zavesami // *Vestnik MAKh*. – 2014. – No. 1 (50). – S. 24-26.
12. Traboulsi, S., Hammoud, A., Khalil, M. (2009). Effects of jet inclination angle and geometrical parameters on air curtain performance. *ASHRAE Transactions*. 115. 617-629.
13. *Otoplenie i ventilyatsiya: uchebnik dlya vuzov. Ch. 2 Ventilyatsiya / pod red. V.N. Bogoslovskogo*. – Moskva: Stroyizdat, 1976. – 439 s.
14. Babiy S.A. Vliyanie poeniya na udoy [Elektronnyy resurs] // *Zhivotnovodstvo*. – 2012. – No. 1 / <https://www.agri-news.ru/zhurnal/2012/%E2%84%961/2012/zhivotnovodstvo/vliyanie-poeniya-na-udoj.html> (Data obrashcheniya: 18.11.2019).
15. Giedrius G., Ershova I.G., Vasilyev A.N., et al. Energy saving system based on heat pump for maintain microclimate of the agricultural objects: Energy saving system for agriculture // *Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development. The United States of America: IGI Global*. 2019. P. 60-84.
16. Bulat L.P., Iordanishvily E.K., Pustovalov A.A., Fedorov M.I. Thermoelectricity in Russia: history and modern state // *Journal of Thermoelectricity*. 2009. No. 4. P. 7-31.
17. Bulat L.P., Osvenskii V.B., Parkhomenko Yu.N., Pshenay-Severin D.A. // *Journal of Electronic Materials*. 2016, V. 45. P. 1648-1653.
18. Goldsmid H.J. *Introduction to Thermoelectricity. Second Edition. Springer series in Materials Science*, 2016. – 278 p.

