УДК 631:628.8

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-3-68-78

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА ПОРОСЯТ**¹Тихомиров Дмитрий Анатольевич¹Трунов Станислав Семенович²Машков Алексей Николаевич¹Ламонов Николай Григорьевич¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. Провели анализ технологий и технических средств создания температурного режима в свиноматочнике, где в холодное время года необходимо создавать два различных температурных поля: для подсосных маток – одно поле, для поросят-сосунков – другое. Рассмотрели вопрос применения термоэлектрических модулей в качестве источника энергии в установках локального обогрева поросят-сосунков. Предложили функционально-технологическую схему установки для локального обогрева молодняка с применением термоэлектрических модулей. В разработанной схеме энергия горячего контура термоэлектрических модулей используется для нагрева площадки, на которой располагаются поросята. Энергия холодного контура термоэлектрического модуля используется для ассимиляции теплоты из удаляемого вентиляционного воздуха. Установили, что для эффективной работы термоэлектрической установки локального обогрева поросят необходимо, чтобы контур охлаждения, который поглощает тепловую энергию из окружающей среды, был задействован в каком-либо технологическом процессе по отводу теплоты, например, удаляемого теплого вентиляционного воздуха. Это приводит к существенному повышению коэффициента полезного использования термоэлектрических модулей. При этом установка будет работать в режиме теплового насоса, поскольку энергия, выделяющаяся в теплообменнике горячего контура термоэлектрической сборки, превышает энергию потребляемой из сети. Разработали и апробировали методику расчета системы теплообмена термоэлектрической сборки с окружающей средой. Разработали макетный образец термоэлектрической установки и провели его лабораторные испытания. Показали энергетическую эффективность применения термоэлектрических модулей в качестве преобразователей энергии в тепловых технологических процессах.

Ключевые слова: свиноматочник, термоэлектричество, локальный обогрев, термоэлектрическая сборка, энергосбережение.

RATIONAL USE OF ELECTRICITY FOR LOCAL HEATING OF PIGLETS¹Tikhomirov Dmitry¹Trunov Stanislav²Mashkov Alexey¹Lamonov Nikolay¹FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM"²FSBSI "All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture"

Abstract. The article analyzes the technologies and technical means of creating a temperature regime in a pigsty, where in the cold season it is necessary to create two different temperature fields: one for sows, the other for suckling pigs. The issue of using thermoelectric modules as an energy source in piglets' local heating installations is considered. The functional and technological scheme of the installation for local heating of young animals with the use of thermoelectric modules is proposed. The energy of the hot loop of thermoelectric modules is used to heat the area where the piglets are located. The energy of the cold loop of the thermoelectric module is used to assimilate heat from the removed ventilation air. It is

established that for the effective operation of a thermoelectric installation for local heating of piglets, it is necessary that the cooling circuit, which absorbs heat energy from the environment, be involved in any technological process of heat removal, for example, for heat recovery of ventilation air. The efficiency of thermoelectric modules increases significantly in this mode. The thermal energy taken from the hot junction of the thermoelectric module to heat the local site exceeds the electricity consumed by the installation from the electrical network. The authors developed and tested a method for calculating the heat exchange system of a thermoelectric unit with the environment. We developed a model of a thermoelectric installation and conducted laboratory tests. The energy efficiency of using thermoelectric modules as energy converters in thermal technological processes is shown.

Keywords: *pigsty-mother liquor, thermoelectricity, local heating, thermoelectric assembly, energy saving.*

Введение. Рациональное и эффективное использование топливно-энергетических ресурсов – одна из самых актуальных и важных проблем в настоящее время. Агропромышленный комплекс России является крупным потребителем электрической и тепловой энергии [1]. Перспективным решением данной проблемы является использование инновационных энергосберегающих технологий и технических средств, которые используют нетрадиционные источники энергии. Электротепловые технологии и процессы теплообеспечения объектов сельского хозяйства могут стать и становятся областью широкого применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Предпосылками их внедрения являются удаленность и рассредоточенность потребителей энергии на объектах АПК, значительный потенциал местных и возобновляемых энергоресурсов, отходов сельхозпроизводства с возможностью их использования в системе автономной энергетики, высокие цены (тарифы) на энергоресурсы и плата за подключение новых мощностей, значительные потери в электрических и тепловых сетях [2].

В системах теплообеспечения и создания микроклимата на животноводческих объектах высокой энергоэффективностью обладают процессы утилизация теплоты и использование тепловых насосов, реализация которых позволит экономить до 30% энергозатрат и одновременно решать экологические проблемы.

Термоэлектрические модули благодаря простоте конструкции, бесшумной работе, стойкости к вибрации, экологической безопасности получают всё большее распространение в мире и достаточно широко используются в различных отраслях науки и техники [3]. Этому способствует их постоянное совершенствование, направленное на повышение их эффективности и КПД, и снижение стоимости. Проведенный анализ использования термоэлектрических модулей Пельтье (термоэлектрических сборок) показывает, что фактически термоэлектрические сборки являются компактными тепловыми насосами, позволяющими создавать энергоэффективные установки, для использования в различных тепловых технологических процессах сельскохозяйственного производства [4]-[6].

Важной и актуальной задачей в животноводстве является создание комфортного теплового режима в свинарнике-маточнике. Температура в зоне нахождения поросят должна меняться от 30°C для поросят-сосунов с постепенным снижением до 22°C ко времени отъема поросят от свиноматок. Для свиноматок комфортная температура составляет 18-22 °C [7].

В настоящее время отдельный температурно-влажностный режим для маток и молодняка обеспечивается созданием локальных зон обогрева при помощи обогреваемых полов, ИК-облучателей, брудеров, организации логова [8]. Оптимальные условия для выращивания поросят позволяет создавать комбинированный обогрев, когда теплота к животным подводится снизу и сверху, являясь сочетанием инфракрасных облучателей с обогреваемыми полами, панелями или ковриками [9]. Подогрев главным образом осуществляется электронагревателями сопротивления либо горячей водой. Одновременно с созданием локальных зон содержания поросят, применение упомянутого электротеплового оборудования позволяет снизить затраты электроэнергии на создание микроклимата по сравнению с установками общеобменной системы вентиляции и отопления свиноводческого помещения. Тем не менее, в масштабе всего свинарника-маточника процесс обеспечения заданного микроклимата является достаточно энергозатратным.

Для опороса маток и их содержания с новорожденными поросятами разработаны различные конструкции станков в хозяйствах промышленного типа, предусматривающие обогреваемую площадку от 0,5 до 1,5 м² для поросят (обогреваемый пол, панели или коврики). С появлением на рынке относительно недорогих и эффективных термоэлектрических модулей и сборок на их основе представляется актуальным рассмотреть вопрос разработки установок для локального

обогрева поросят, что позволит наряду с созданием комфортных условий их содержания ещё и существенно снизить расход энергии на отопление локальных зон свинарника. Целью исследования является разработка функционально-технологической схемы, методики расчета и изготовление макетного образца обогреваемой с помощью термоэлектричества панели для поросят при их содержании в станке.

Материалы и методы. Для эффективной работы термоэлектрического модуля, в виду того, что площадь его поверхности не позволяет отвести весь поток тепловой энергии, вырабатываемой термоэлементом, следует применять дополнительные теплообменные поверхности.

В зависимости от уровня отводимой мощности Q с горячей и холодной стороны модуля, сделать это возможно с помощью: монтажа модуля на металлическую пластину ($Q < 15$ Вт); на воздушный радиатор ($15 < Q < 35$ Вт); применить водяное охлаждение ($Q > 35$ Вт) [10].

Термоэлектрическая сборка может быть рассмотрена в качестве теплового насоса, который забирает тепло из окружающей среды на холодной стороне модуля и передает ее горячей стороне [11]. Применение термоэлектрических сборок позволяет осуществлять одновременно в разных технологических процессах нагрев и охлаждение объектов, температура которых не адекватна температуре окружающей среды.

В зависимости от назначения, условий теплообмена между внешней средой и рассматриваемым объектом термоэлектрические сборки выполняют с различными теплообменниками. Наиболее распространенными являются теплообменники с жидкостным и воздушным типом передачи теплоты.

Из проведенного нами анализа различных схем термоэлектрических сборок [12], [13] установлено, что для создания установки локального обогрева поросят с применением термоэлектрического теплового насоса следует принять по энергетическим и конструктивным параметрам схему теплообмена «жидкость – воздух», технологическая схема которой показана на рисунке 1.

1 – вытяжная вентиляция; 2 – термоэлектрическая сборка; 3 – радиатор холодного контура; 4 – термоэлектрический модуль; 5 – радиатор горячего контура; 6 – вентилятор вытяжной; 7 – байпасная линия; 8 – насос циркуляционный; 9, 10 – трубопровод; 11 – панель обогреваемая

Рисунок 1 – Схема установки локального напольного обогрева поросят с применением термоэлектричества

Установка разработана по схеме «жидкость-воздух» и содержит термоэлектрическую сборку 2, которая в свою очередь состоит из термоэлектрических модулей Пельтье 4, воздушных радиаторов холодного контура 3, установленных в байпасе 7 с вытяжным вентилятором 6, канала вытяжной вентиляции помещения 1, радиатора водяного охлаждения горячего спая 5, соединенного прямым 9 и обратным 10 трубопроводами через циркуляционный насос 8 с обогреваемой панелью 11.

Свиноматка располагается в зоне станка, поросята в основном находятся в отгороженной от свиноматки зоне, в которой располагают обогреваемую панель 11, на которой поросята отдыхают. Через проход в разделительной решетке поросята-сосуны для кормления свободно проходят к свиноматке.

Во многих конструкциях термоэлектрических охлаждающих приборах и установках в качестве теплоотводящей системы используется воздушный радиатор [14]. При этом применяется либо естественно-конвекционный теплообмен с равностоящей системой плоских ребер, либо принудительный теплосъем с их поверхности.

При расчете воздушного радиатора, установленного на холодной стороне термоэлектрического модуля и используемого для ассимиляции тепла из нагретого вентиляционного воздуха помещения, принимаем нижеследующие исходные данные: Q – холодопроизводительность элемента, Вт; t_v – температура воздуха в помещении (среды), °C; t_p – средняя температура радиатора, °C; b – толщина ребра, м; h – расстояние между ребрами, м; λ_m – коэффициент теплопроводности материала радиатора, Вт/(м°C); L – размер воздушного радиатора вдоль ребер, м; B – размер воздушного радиатора поперек ребер, м; A – толщина основания радиатора, м.

На один термоэлектрический модуль по центру устанавливается соответствующий воздушный радиатор, при этом размеры радиатора вдоль ребер L (длина) и поперёк ребер B (ширина) (рис.2) следует выбирать такими, чтобы они были не меньше размеров термоэлектрического модуля, принятого в качестве генератора холода.

1- ребра воздушного радиатора; 2- основание воздушного радиатора;
3- водяной радиатор горячего контура; 4 - элемент термоэлектрический

Рисунок 2 – Схема термоэлектрической сборки «воздух-вода»

Рассмотрим оба варианта теплосъёма с поверхности оребрения (принудительный и естественным побуждением).

При расчете радиатора с принудительным теплосъёмом количество теплоты, которое поглощается радиатором из окружающего воздуха можно определить с помощью уравнения

$$Q = c_v \cdot G_v \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, подводимое к радиатору, Вт (задано в исходных данных);

G_v – массовый расход воздуха через радиатор, кг/с;

c_v – удельная теплоемкость воздуха при температуре радиатора, Дж/кг °С;

Δt – задаваемая разность температур воздуха на входе и выходе радиатора, °С.

Значение скорости воздуха V между ребрами воздушного радиатора принимаем в диапазоне от 2 до 6 м/с, исходя из анализа аналогичных устройств [15-17].

Коэффициент теплообмена α_p ребер радиатора конвекцией при установленной скорости движения воздушного потока определяют по критериям подобия Рейнольдса и Нуссельта.

Коэффициент Рейнольдса равен

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}, \quad (2)$$

где V – скорость воздушного потока вдоль ребра радиатора, м/с;

L – длина ребер радиатора, м;

ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

Коэффициент Нуссельта:

$$Nu = 0,032 Re^{0,8} \quad (3)$$

Коэффициент конвективного теплообмена ребра радиатора при вынужденном движении воздушного потока определяют по известному выражению [16]:

$$\alpha_p = \frac{Nu \cdot \lambda_v}{L}, \quad (4)$$

где λ_v – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт / (м°С).

Габаритные размеры воздушного радиатора определяют по установленной зависимости [15], определяющей рациональное соотношение между высотой H и толщиной b ребра радиатора

$$H = 1,419 \frac{b}{2} \sqrt{\frac{2\lambda}{\alpha_p b}}, \quad (5)$$

где b – толщина ребра, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала, из которого изготовлен радиатор, например, для меди $\lambda = 395$ Вт/(м °С).

Таким образом, на основании ранее принятого размера воздушного радиатора вдоль ребер L и полученной по уравнению (4) высотой ребра H площадь теплоотдающей поверхности одного ребра ассимилирующей тепловую энергию из вентиляционного воздуха составит:

$$F_{pl} = 2(H \cdot L) \quad (6)$$

Теплота вентиляционного воздуха передается через всю поверхность F теплообменника и может быть выражена через уравнение теплового потока как

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t, \quad (7)$$

где Q – тепловой поток, поглощаемый холодной стороной термоэлектрического модуля из вентиляционного воздуха, Вт;

F – площадь всех поверхностей теплообмена радиатора (ребер и основания ребер), м²;

Δt – задаваемая разность температур воздуха на входе и выходе из радиатора, °С;

K – коэффициент теплопередачи от поверхности термоэлектрического модуля к охлаждаемому воздуху, Вт/(м²°С).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{A}{\lambda_m}}, \quad (8)$$

где A – толщина основания радиатора, м;

λ_m – коэффициент теплопроводности металла основания, Вт/(м °С).

Площадь всей радиаторной системы F , состоящей из площади основания радиаторной системы F_0 и самих ребер радиатора F_p для конвективного отбора тепла вентиляционного воздуха с принудительным побуждением воздуха может быть с достаточной степенью точности определена из выражения (7).

Площадь основания ребер радиатора F_0 можно найти из выражения

$$F_0 = L \cdot B. \quad (9)$$

Площадь боковых поверхностей основания ребер радиатора не учитываем в виду незначительной её величины.

Тогда площадь теплоотдающей поверхности всех ребер радиатора составит

$$F_p = F - F_0. \quad (10)$$

Количество ребер радиатора N определим из выражения

$$N = \frac{F_p}{F_{p1}}. \quad (11)$$

Для изменения полученных расчетным путем размеров радиатора следует скорректировать задаваемые его параметры длину L и ширину B .

Расход воздуха через радиатор и соответственно воздухопроизводительность вентилятора, которым должен быть укомплектован термоэлектрический модуль, определим из выражения

$$G_b = \frac{Q}{C_b \cdot \Delta t}, \quad (12)$$

В соответствии с принятой скоростью и полученным по выражению (12) расходом воздуха определим площадь (сечение) воздушного канала, в котором должен быть установлен воздушный радиатор термоэлектрического модуля.

$$F_k = \frac{G_b}{V}. \quad (13)$$

Расчет радиатора с естественно-конвекционным теплосъёмом производится по аналогичному алгоритму. Площадь радиаторной системы с естественно-конвекционным съёмом тепла определяем с помощью выражения (7) при этом Δt – допустимый перепад температур между радиатором и окружающим воздухом, °С.

Установлено, что величина коэффициента теплообмена при естественно-конвекционном теплообмене зависит от ряда факторов и в первую очередь от пространственного расположения радиаторных пластин. При установке вертикально вверх радиатор работает с наибольшим коэффициентом теплоотдачи [18]. Однако по конструктивным соображениям в соответствии с принятой схемой (рисунок 1) выражение для расчета коэффициента теплоотдачи α_p определяем для системы ребер, расположенных горизонтально.

Для вычисления среднего по длине ребра численного значения коэффициента конвективного теплообмена α_p ребра теплообменника с воздухом воспользуемся выражением из источника [17].

$$\alpha_p = 1,19 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{B}}, \quad (14)$$

где B – наименьшая сторона горизонтальной поверхности радиаторных пластин, м.

Результаты и обсуждение. Пример расчета радиатора термоэлектрического элемента при принудительном охлаждении представлен в таблице 1.

На основании выполненных расчетов был изготовлен макетный образец установки локального обогрева порослят (рисунок 3) с помощью обогреваемой напольной панели с применением термоэлектрических модулей в качестве нагревателей теплоносителя (воды), циркулирующей по замкнутому контуру.

Таблица 1 – Расчет радиатора термоэлектрического элемента при принудительном охлаждении

Параметр	Обозначение, расчетная формула	Значение	Ед. изм	Примечание
Холодопроизводительность термоэлектрического элемента	Q	50	Вт	паспортные данные
Температура воздуха в помещении	t_b	20	°C	исходные данные
Средняя температура радиатора	t_p	5	°C	исходные данные
Толщина ребра радиатора	b	$0,5 \cdot 10^{-3}$	м	исходные данные
Коэффициент теплопроводности медного радиатора	λ	380	Вт/м°C	исходные данные
Размер воздушного радиатора вдоль ребер	L	$4 \cdot 10^{-2}$	м	исходные данные
Размер воздушного радиатора поперек ребер	B	$4 \cdot 10^{-2}$	м	исходные данные
Толщина основания радиатора	A	$8 \cdot 10^{-3}$	м	исходные данные
Скорость воздуха в каналах между ребрами	V	2	м/с	задаваемая величина
Коэффициент кинематической вязкости воздуха	ν	$15,8 \cdot 10^{-6}$	м²/с	исходные данные
Число Рейнольдса	$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$	$0,5 \cdot 10^4$		расчетная величина
Число Нуссельта	$Nu = 0,032 Re^{0,8}$	29		расчетная величина
Коэффициент конвективного теплообмена ребер радиатора	$\alpha_p = \frac{Nu \cdot \lambda_b}{L}$	19,8	Вт/м²°C	расчетная величина
Высота ребра радиатора	$H = 1,419 \frac{b}{2} \sqrt{\frac{2\lambda}{\alpha_p b}}$	97	мм	расчетная величина
Площадь теплоотдающей поверхности ребра	$F_{pl} = 2(H \cdot L)$	0,0078	м²	расчетная величина
Коэффициент теплопередачи от поверхности термоэлектрического модуля к охлаждаемому воздуху	$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{A}{\lambda_a}}$	27,02	Вт/м²°C	расчетная величина
Разность температур воздуха на входе и выходе радиатора	Δt	15	°C	задаваемая величина
Площадь радиаторной системы	$F = \frac{Q}{K \Delta t}$	0,12	м²	расчетная величина
Площадь теплоотдающей поверхности всех ребер радиатора	$F_p = F - F_o$	0,118	м²	расчетная величина
Количество ребер на основании радиатора	$N = \frac{F_p}{F_{pl}}$	15	шт	расчетная величина
Удельная теплоемкость воздуха при температуре радиатора	C_b	1005	Дж/кг °C	исходные данные
Расход воздуха через радиатор	$G_a = \frac{3600 \cdot Q}{C_a \cdot \Delta t}$	11,9	кг/ч	расчетная величина
Площадь (сечение) воздушного канала	$F_k = \frac{\rho_a G_a}{V}$	0,0019	м²	расчетная величина

Рисунок 3 – Макетный образец обогреваемой панели и термоэлектрической сборки

Основные параметры системы обогрева поросят приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные параметры локальной системы обогрева

Параметр	Ед. измерен.	Значение
Тип термоэлектрического модуля	ТЕС1-12706	
Напряжение питающей сети	В	220
Напряжение питания термоэлектрического модуля	В	12
Электрическая мощность, потребляемая из сети	Вт	60
Тепловая мощность, отводимая горячим контуром	Вт	82
Температура на рабочей поверхности обогреваемой панели при температуре окружающей среды 15 °С	°С	31
Объем циркулирующей жидкости	л	0,8
Размер обогреваемой панели	м	0,7х1,2

В термоэлектрическом модуле при прохождении электрического тока через элемент помимо теплоты $Q_{\text{дж}}$, выделяющейся в соответствии с законом Джоуля-Ленца, в спае выделяется или поглощается в зависимости от направления тока теплота Пельтье.

Количество теплоты, поглощающей на холодном спае термоэлемента, имеет значение

$$Q_{\text{ох}}^n = \alpha_{12} I T_{\text{ох}}, \quad (16)$$

выделяющаяся теплота на горячем спае

$$Q_{\text{г}}^n = \alpha_{12} I T_{\text{г}}, \quad (17)$$

где α_{12} – коэффициент термо-эдс термоэлемента (коэффициент Пельтье), В/°С;

I – сила тока в цепи термоэлемента, А;

$T_{\text{ох}}, T_{\text{г}}$ – температура соответственно холодного и горячего спаев, °С.

За счет теплопроводности материала термоэлектрического модуля передается также тепло $Q_{\text{т}}$ от горячего спае к холодному.

Уравнения теплового баланса для горячего и холодного спаев имеют вид:

$$\begin{aligned} Q_{\text{г}}^n + 0,5 Q_{\text{дж}} &= Q_{\text{г}} + Q_{\text{т}} \\ Q_{\text{ох}}^n + 0,5 Q_{\text{дж}} + Q_{\text{т}} &= Q_{\text{ох}}^n. \end{aligned} \quad (18)$$

Если допустить полную теплоизоляцию ветвей термоэлемента, то его теплообмен с окружающей средой происходит на спаях. Разность между теплотой $Q_{\text{г}}$, передаваемая горячим

спаем нагреваемому объекту и теплотой $Q_{\text{ох}}$, забираемой из окружающей среды, представляет собой работу электрических сил W (потребляемая мощность термоэлементом из электрической сети).

При этом количество теплоты, которое необходимо отвести от горячего спая термоэлемента (в любом режиме работы), составляет

$$Q_{\Gamma} \approx Q_{\text{ох}} + W. \quad (19)$$

Таким образом, из уравнения (19) видно, что при создании идеальных условий количество тепловой энергии, выделяющейся на горячем спая термоэлектрического модуля практически равно сумме энергий, поглощаемой на холодном спая термоэлектрического модуля и потребляемой из электрической сети.

На рисунке 4 показаны экспериментальные зависимости мощности потребляемой из сети W и мощности, отводимой горячим контуром термоэлектрического модуля Q_{Γ} от напряжения питающей сети.

Рисунок 4 – Энергетическая характеристика термоэлектрического модуля

Выводы. Анализируя усредненные экспериментальные зависимости можно заключить, что мощность, отводимая горячим контуром термоэлектрического модуля, на 25 % превышает мощность, потребляемую из сети. Это происходит за счет присоединения к горячему контуру поглощенной энергии $Q_{\text{ох}}$ из нагретого удаляемого из помещения воздуха холодным контуром термоэлектрического модуля. Используя сбросовое тепло удаляемого вентиляционного воздуха для подвода к холодному спая, удастся снизить мощность, потребляемую из электрической сети для подогрева самой панели.

Анализ экспериментальных значений и теоретические исследования позволяют утверждать о возможности использования термоэлектрических модулей Пельтье в установках локального обогрева молодняка животных в качестве энергосберегающего источника тепловой энергии.

Применение установок локального обогрева на основе элементов Пельтье, используемых в качестве тепловых насосов способны значительно сократить расход энергии (до 25%) на обогрев молодняка по сравнению с существующими установками прямого нагрева.

Дальнейшие исследования будут направлены на определение условий оптимального режима работы термоэлектрической системы для получения максимального прироста мощности, отводимой горячим контуром, по сравнению с мощностью, потребляемой из сети, и обоснование теплоэнергетических и конструкционных параметров локальной установки обогрева поросят.

Список литературы

1. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Оценка потребностей сельского хозяйства РФ в энергоресурсах и их структура на период до 2030 г // Инновации в сельском хозяйстве. – 2018. – № 28. – С. 101-109.
2. Тихомиров Д.А., Тихомиров А.В. Распределенные системы энергоснабжения АПК // Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве. – 2019. – №3(36). – С.3-11.
3. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – 2001. Утв. и введено в действие указанием Москомархитектуры от 31.01.2001 г. № 8.
4. Тихомиров Д.А., Трунов С.С., Ершова И.Г., Косолапова Е. В. Воздушно-тепловая завеса с использованием термоэлектрических модулей в доильном блоке фермы КРС // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 1. – С. 47-57
5. Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрическое осушение воздуха в сельскохозяйственных помещениях // Наука в центральной России. – 2018. – №2 (32). – С. 51-59.
6. Кирсанов В.В., Кравченко В.Н., Филонов Р.Ф. Применение термоэлектрических модулей в пастеризационно-охладительных установках для обработки жидких пищевых продуктов: монография. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2011. – 88с.
7. РД-АПК 1.10.02.01-13. Методические рекомендации по технологическому проектированию свиноводческих ферм и комплексов. - М.: Минсельхоз РФ. – 2012. – 138 с.
8. Растимешин С.А., Борисов В.В. Определение параметров контактного теплообмена поросенка для расчета энергосберегающих электрообогревателей / Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. 2006. – Т.3. – С. 179-185.
9. Трунов С.С., Растимешин С.А. Требования к тепловому режиму животноводческих помещений с молодняком и предпосылки применения локального обогрева // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 2 (27). – С. 76-82.
10. Шостаковский П.Г. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской и бытовой техники // Компоненты и технологии. – 2010. – № 1. – С. 102-109.
11. Шостаковский П.Г. Тепловой контроль объектов на базе термоэлектрических сборок // Компоненты и технологии. – 2011. – № 9. – С 142-150.
12. Трунов С.С., Тихомиров Д.А. Термоэлектрическая установка обработки воздуха помещений сельскохозяйственного назначения // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. -2019. -№1(34). -С. 8-14.
13. Трунов С.С., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г. Методика расчета термоэлектрической установки для осушения воздуха // Инновации в сельском хозяйстве. – №3(32). – 2019. – С. 261-271.
14. Venkatesan K., Venkataramanan M. Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach // International journal of thermophysics. – 2020. – Vol. 41.
15. Покорный Е.Г., Щербина А.Г. Расчет полупроводниковых охлаждающих устройств. Л.: Наука, 1969. 206 с.
16. Хоблер Т. Теплопередача и теплообменники. Л.: Госхимиздат, 1961. 820с.
17. Коленко Е.А. Термоэлектрические охлаждающие устройства. М.-Л.: Наука, 1967. 282 с.
18. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха): Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1982. 415 с.

References

1. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Ocenka potrebnostej sel'skogo hoz'yajstva RF v energoresursah i ih struktura na period do 2030 g. // Innovacii v sel'skom hoz'yajstve. - 2018. - № 28. -С. 101-109.
2. Tihomirov D.A., Tihomirov A.V. Raspredelennye sistemy energosnabzheniya APK // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v sel'skom hoz'yajstve. -2019. -№3(36). -S.3-11.
3. Rukovodstvo po primeneniyu teplovyh nasosov s ispol'zovaniem vtorichnyh energeticheskikh resursov netradicionnyh vozobnovlyaemykh istochnikov energii. 2001. Utv. i vvedeno v dejstvie ukazaniem Moskomarhitektury ot 31.01.2001 g. № 8.
4. Tihomirov D.A., Trunov S.S., Ershova I.G., Kosolapova E. V. Vozdushno-teplovaya zavesa s ispol'zovaniem termoelektricheskikh modulej v doil'nom bloke fermy KRS // Vestnik NGIEI. 2020. № 1. S.47-57
5. Trunov S.S., Tihomirov D.A. Termoelektricheskoe osushenie vozduha v sel'skohozyajstvennyh pomeshcheniyah // Nauka v central'noj Rossii. - 2018. -№2 (32). - S. 51-59.

6. Kirsanov V.V., Kravchenko V.N., Filonov R.F. *Primenenie termoelektricheskikh modulej v pasterizacionno-ohladitel'nyh ustanovkakh dlya obrabotki zhidkih pishchevyh produktov: monografiya.* - M.: FGOU VPO MGAU, 2011. - 88s.
7. RD-APK 1.10.02.01-13. *Metodicheskie rekomendacii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu svinovodcheskikh ferm i kompleksov.* – M.: Minsel'hoz RF. –2012. – 138 s.
8. Rastimeshin S.A., Borisov V.V. *Opreделение параметров контактного теплообмена порошенка для расчета энергосберегающих электрообогревателей* // *Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii Energoobespechenie i energosberezhenie v sel'skom hozyajstve.* 2006. T. 3. S. 179-185.
9. Trunov S.S., Rastimeshin S.A. *Trebovaniya k teplovomu rezhimu zhivotnovodcheskikh pomeshchenij s molodnyakom i predposylki primeneniya lokal'nogo obogreva* // *Vestnik VIESKH.* 2017. № 2 (27). S. 76-82.
10. SHostakovskij P.G. *Sovremennye resheniya termoelektricheskogo ohlazhdeniya dlya radioelektronnoj, medicinskoj i bytovoj tekhniki.* // *Komponenty i tekhnologii* № 1, 2010 g.
11. SHostakovskij P.G. *Teplovoj kontrol' ob'ektov na baze termoelektricheskikh sborok* // *Komponenty i tekhnologii* № 9 2011g.
12. Trunov S.S., Tihomirov D.A. *Termoelektricheskaya ustanovka obrabotki vozduha pomeshchenij sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* // *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK.* -2019. - №1(34). -S. 8-14.
13. Trunov S.S., Tihomirov D.A., Lamonov N.G. *Metodika rascheta termoelektricheskoy ustanovki dlya osusheniya vozduha* // *Innovacii v sel'skom hozyajstve.* -№3(32).-2019. -S.261-271.
14. Venkatesan K., Venkataramanan M. *Experimental and simulation studies on thermoelectric cooler: A performance study approach* // *International journal of thermophysics.*-2020.-Vol. 41.- Issue: 4.- Article Number: 38. DOI: 10.1007/s10765-020-2613-2.
15. Pokornij E.G., SHCHerbina A.G. *Raschet poluprovodnikovyh ohlazhdayushchih ustrojstv.* Izd-vo «Nauka», Leningradskoe otd., L., 1969. 206 s.
16. Hobler T. *Teploperedacha i теплообменники.* Goskhimizdat, L., 1961 820s.
17. Kolenko E.A. *Termoelektricheskije ohlazhdayushchie ustrojstva.* Izd. «Nauka», M.-L. 1967.
18. Bogoslovskij V.N. *Stroitel'naya teplofizika (teplofizicheskie osnovy otopleniya, ventilyacii i kondicionirovaniya vozduha): Uchebnik dlya vuzov. - 2-e izd., pererab. i dop.-* M.: Vyssh. shkola, 1982.- 415 s.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Тихомиров Дмитрий Анатольевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: tihda@mail.ru.

Трунов Станислав Семенович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: alla-rika@yandex.ru.

Машков Алексей Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Россия, г. Тамбов, e-mail: vniiti@mail.ru.

Ламонов Николай Григорьевич – инженер Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва, e-mail: viesh@viesh.ru.

Author credentials

Affiliations

Tikhomirov Dmitry – Full Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: tihda@mail.ru.

Trunov Stanislav – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: alla-rika@yandex.ru.

Mashkov Alexey – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture”, Russia, Tambov, e-mail: vniiti@mail.ru.

Lamonov Nikolay – engineer of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Russia, Moscow, e-mail: viesh@viesh.ru.

Поступила в редакцию (Received): 24.03.2020

Принята к публикации (Accepted): 12.05.2020