



**ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА/ELECTROTECHNOLOGY, ELECTRICAL EQUIPMENT AND
POWER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66> EDN: YMWE EW

**РАЗРАБОТКА ПОИЛКИ С КОМПОЗИЦИОННЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ, ОПТИМИЗИРОВАННЫМ ПО
КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ**

Научная статья

Ведманкин А.В.^{1,*}, Еремочкин С.Ю.²

^{1,2} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (eletok22[at]mail.ru)

Аннотация

Поддержание оптимального температурного режима воды в системах поения сельскохозяйственных животных в зимний период является критически важной задачей для обеспечения их продуктивности и здоровья. Традиционные системы обогрева на основе трубчатых электронагревателей (ТЭН) обладают рядом недостатков: высокое энергопотребление, локальный перегрев, подверженность коррозии и образованию накипи, а также низкая ремонтпригодность. Разработка энергоэффективных, надежных и безопасных решений на основе современных материалов и методов автоматизации представляет собой актуальное научно-техническое направление. Разработка конструкции интеллектуальной системы обогрева поилок, использующей в качестве нагревательного элемента гибкий низкотемпературный композит на основе бутилкаучука, наполненного техническим углеродом (БК/ТУ), и оснащенной микроконтроллерной системой управления.

В ходе работы применялся комплекс методов: анализ литературных и патентных источников; инженерное проектирование конструкции поилки с распределенной греющей системой (донной и боковой панелями). Разработана принципиальная конструкция поилки, где в качестве активного нагревательного элемента применен прямоугольный, влагостойкий композит БК/ТУ, работающий в низкотемпературном режиме (40–60 °С). Для выбора композиционного обогревателя была применена методика, основанная на информационной энтропии, применен математический аппарат для определения количественного значения энтропии, значения энтропии сопоставлены с состоянием проводящей сетки, механизм проводимости, приведена визуальная аналогия.

Создана схема на базе микроконтроллера производства ОВЕН, обеспечивающая поддержание заданной температуры воды (3–8 °С) с учетом её уровня, реализующая энергосберегающие алгоритмы циклической работы и комплекс защит (перегрева, нарушения целостности цепи). Гибкость и химическая стойкость элемента БК/ТУ повышают долговечность и ремонтпригодность системы. Полученные результаты являются основой для дальнейшего внедрения в сельскохозяйственном производстве.

Ключевые слова: системы поения, обогрев поилок, зимнее содержание животных, электропроводящие полимеры, бутилкаучук-углеродный композит, распределенный обогрев, энергоэффективность, термостатирование.

**DEVELOPMENT OF A DRINKING BOWL WITH A COMPOSITE HEATER OPTIMISED FOR MAXIMUM
INFORMATIONAL ENTROPY**

Research article

Vedmankin A.V.^{1,*}, Vedmankin A.Y.²

^{1,2} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

* Corresponding author (eletok22[at]mail.ru)

Abstract

Maintaining an optimal water temperature in livestock watering systems during winter is critically important for ensuring the animals' productivity and health. Traditional heating systems based on tubular electric heaters (TEHs) have a number of drawbacks: high energy consumption, local overheating, susceptibility to corrosion and scale buildup, as well as poor maintainability. The development of energy-efficient, reliable and safe solutions based on modern materials and automation methods is a topical scientific and technical field. Development of a design for an intelligent drinking bowl heating system, utilising a flexible low-temperature composite based on butyl rubber filled with technical carbon (BR/TC) as the heating element, and equipped with a microcontroller-based control system.

The work was carried out using a range of methods, including an analysis of literature and patent sources, and the engineering design of a drinking bowl with a distributed heating system (with bottom and side panels). A conceptual design of the drinking bowl was developed, in which a rectangular, moisture-resistant BR/TC composite operating at low temperatures (40–60 °С) was used as the active heating element. A method based on information entropy was applied to select the composite heater; a mathematical framework was used to determine the quantitative value of entropy; the entropy values were compared with the state of the conductive mesh and the mechanism of conductivity; a visual analogy is provided.

A circuit based on an OVEN microcontroller has been developed, which maintains a set water temperature (3–8°C) while taking the water level into account, and implements energy-saving algorithms for cyclic operation and a set of protective measures (against overheating and circuit integrity failure). The flexibility and chemical resistance of the BR/TC component

enhance the system's durability and maintainability. The obtained results form the basis for further implementation in agricultural production.

Keywords: watering systems, heating of drinking bowls, winter animal husbandry, electrically conducting polymers, butyl rubber-carbon composite, distributed heating, energy efficiency, thermal regulation.

Введение

Обеспечение свободного доступа лошадей к воде оптимальной температуры (+7...+12 °С) является критически важным зоотехническим и физиологическим требованием при зимнем содержании, особенно при организации пастбищно-стойлового или круглосуточного выгульного содержания (рис. 1). Физиологически потребление холодной воды (с температурой, близкой к 0 °С) запускает у лошади ряд энергозатратных компенсаторных механизмов. Для согревания поступившей в желудочно-кишечный тракт жидкости до температуры тела (около 38 °С) организм вынужден расходовать значительные внутренние энергоресурсы. Это приводит к прямому перерасходу метаболизируемой энергии корма, которая могла бы быть направлена на поддержание живой массы, работоспособности, роста молодняка или лактации у кобыл. Согласно исследованиям, потребность в поддерживающей энергии у лошадей при поении ледяной водой может возрастать на 15–25% по сравнению с поением водой оптимальной температуры [1], [2].



Рисунок 1 - Выгульное содержание лошадей в Алтайском крае Баевского района
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.1>

Традиционные технические решения по подогреву воды в уличных поилках для лошадей, повсеместно применяемые в настоящее время, в основном основаны на использовании погружных трубчатых электронагревателей (ТЭНов) или резистивных греющих кабелей, обмотанных вокруг корпуса или подведенных к зоне водопоя. Несмотря на простоту, эти технологии обладают комплексом принципиальных недостатков, ограничивающих их надежность, безопасность и экономическую эффективность [3].

Ключевые проблемы традиционных систем [4]:

1. Локальный перегрев и образование накипи. ТЭНы характеризуются высокой удельной мощностью и точечным тепловыделением.
2. Нерациональное распределение тепла. Вода в непосредственной близости от нагревателя может перегреваться, а в удаленных уголках поилки — замерзать.
3. Сложность ремонта и обслуживания. Замена вышедшего из строя ТЭНа требует полного опорожнения поилки, демонтажа узлов, часто в условиях отрицательных температур.

В этой связи перспективным направлением представляется переход к системам распределенного обогрева на основе гибких низкотемпературных нагревателей на полимерной матрице [5]. Принцип их действия основан на Джоулевым нагреве всего проводящего полотна, а не отдельной спирали. Это позволяет:

- Равномерно обогревать большую площадь, устраняя «холодные зоны» и обеспечивая конвекционный прогрев всего объема воды.
- Работать в безопасном низкотемпературном режиме (обычно 40–70 °С поверхности), что кардинально снижает риск ожогов, исключает «пригорание» органических взвесей и существенно замедляет процесс образования накипи.



Рисунок 2 - Композиционный обогреватель на основе бутилкаучука
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.2>

Практический интерес для создания таких систем представляют электропроводящие резиновые композиты на основе бутилкаучука (БК), наполненного техническим углеродом (ТУ), изображенные на рисунке 2, подробно описанные в докторской диссертации Т.М. Халиной [6]. Данный выбор материала обусловлен сочетанием эксплуатационных свойств:

- Эластичность и гибкость.
- Химическая и влагонепроницаемость.
- Стабильные резистивные свойства.

Цель исследования: разработка и исследование поилки с интегрированным композиционным нагревателем и системой управления, обеспечивающей энергоэффективный режим.

Задачи исследования:

1. Спроектировать конструкцию поилки с распределенным нагревательным элементом.
2. Разработать и апробировать методику выбора оптимального образца композиционного материала по критерию максимума информационной энтропии Шеннона.
3. Реализовать систему автоматического управления температурным режимом на базе программируемого терморегулятора ТРМ500.

Объекты и методы исследования

1. Поилка: конструкция из пищевой нержавеющей стали, в стенки которой интегрированы панели композиционного нагревателя.
2. Композиционный нагреватель: система «бутилкаучук — технический углерод марки N220».
3. Система управления: на базе терморегулятора ТРМ500, датчиков Pt100.

Для получения данных применены: сканирующая электронная микроскопия (SEM), анализ на основе информационной энтропии (по Шеннону).

Основные результаты

Спроектирован и изготовлен экспериментальный образец поилки, корпус которой представляет собой открытый сверху прямоугольный бак. Основные конструктивные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные параметры корпуса опытной поилки

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.3>

Параметр	Значение / Материал
Габаритные размеры (Д×Ш×В)	700 × 400 × 400 мм
Полезный объем	100 л
Материал корпуса	Нержавеющая сталь AISI 304 (пищевая), толщина 0,8 мм
Конструктивные особенности	Конструкция представляет собой не сложное сварное изделия из нержавеющей стали, размеры могут варьироваться в соответствии с поставленными задачами

Цельносварная конструкция, скруглённые внутренние углы для облегчения санитарной обработки. Бак установлен на четыре опорные ножки высотой 150 мм, обеспечивающие воздушный зазор для снижения теплопотерь через дно (рис. 3). В нижней точке одной из торцевых стенок предусмотрен резьбовой патрубок G³/₄ с шаровым краном для полного слива воды.

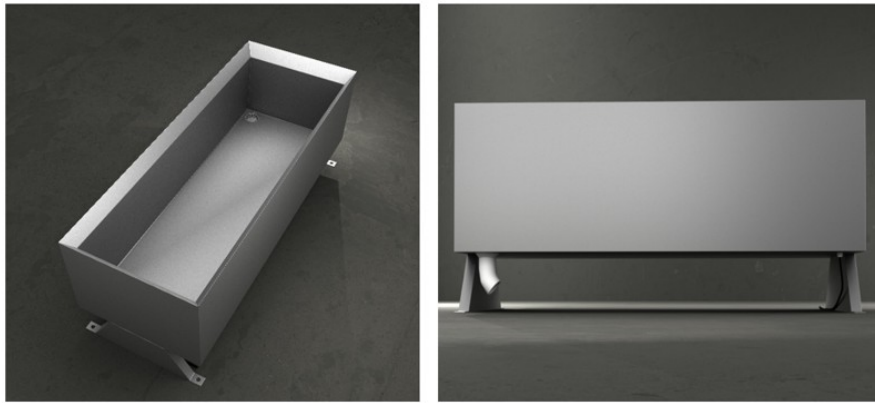


Рисунок 3 - Конструкция поилки для лошадей в зимний период
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.4>

Для предотвращения замерзания воды и поддержания её положительной температуры применена система панельного обогрева. В качестве активных элементов использованы композиционные электронагреватели на основе бутилкаучука, наполненного техническим углеродом марки N220 [7]. Нагреватели закреплены на внешней поверхности стенок и дна внутреннего бака и образуют два контура:

1. Донный контур: панель площадью 0,28 м², расположенная под всей площадью дна.
2. Боковой (поясной) контур: две панели общей площадью 0,56 м², закреплённые на боковых стенках на высоте до 150 мм от дна.

Суммарная активная площадь нагрева составила 0,84 м². Каждый контур питается от сети переменного тока ~220 В через магнитный контактор, управляемые контроллером ТРМ500.

Датчик температуры установлен в защитной гильзе в угловой зоне бака, наиболее подверженной охлаждению. Использован погружной полупроводниковый датчик температуры ОВЕН ДТСРТ100 с диапазоном измерений -55... +125 °С, выходом по интерфейсу 1-Wire и погрешностью ±0,5 °С. Для контроля минимально допустимого уровня воды применён датчик уровня, соответствующей 15% полезного объёма.

Для автоматизации работы и состояния поилки разработана электрическая принципиальная схема на базе контроллера ТРМ500 (рис. 4).

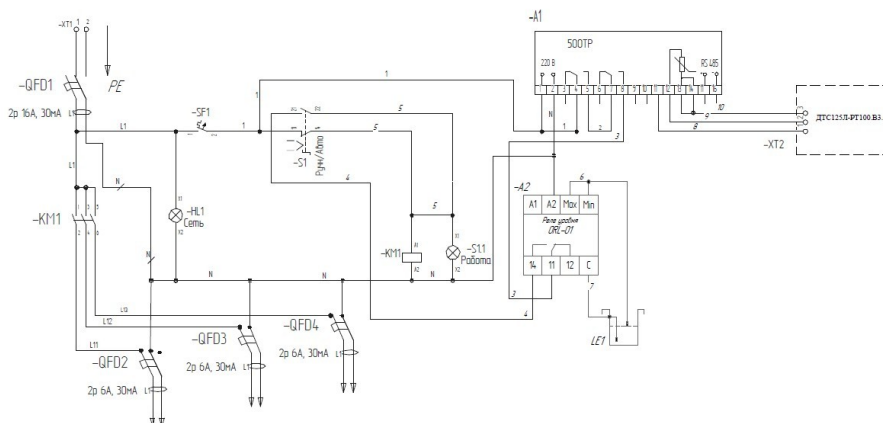


Рисунок 4 - Принципиальная электрическая схема управления поилкой
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.5>

Центром управления является программируемый логический контроллер ОВЕН ТРМ500, осуществляющий опрос датчика температуры. Выполнение алгоритма происходит по двухпозиционному закону с уставкой +8 °С и гистерезисом 2 °С. В схеме для защиты животных от поражения электрическим током предусмотрены автоматические выключатели дифференциального тока.

На производственном предприятии ООО «Энергоэффекттехнология», были изготовлены три опытных образца, по различным рецептурным картам. Одним из главных различий, при производстве электропроводящего слоя в композиционном обогревателе было изменения время смешения. Для выбора лучшего нагревательного элемента из трёх опытных образцов композита «бутилкаучук — технический углерод» применили методику оценки однородности микроструктуры. В основе методики — расчёт информационной энтропии по Шеннону на бинаризованных СЭМ-

изображениях поперечных срезов, опираясь на подходы из теории информации, изложенные в работе А.В. Машкина [8]. Сама методика состоит из пяти этапов.

Этап № 1. Подготовительный этап. Проводится СЭМ-анализ на приборе с разрешающей способностью не менее 5 000х (оптимально 10 000–20 000х) для визуализации первичных агрегатов технического углерода (ТУ).

Этап № 2. Предварительная обработка изображения. На данном этапе проводится устранение артефактов, подготовка к сегментации, фильтрация шума, улучшение локального контраста.

Этап № 3. Сегментация. На этапе сегментации строится и анализируется гистограмма распределения яркости предобработанного изображения для различных трех образцов (рис. 5). По оси ординат количество пикселей в %, по оси абсцисс, яркость в диапазоне 0-255.

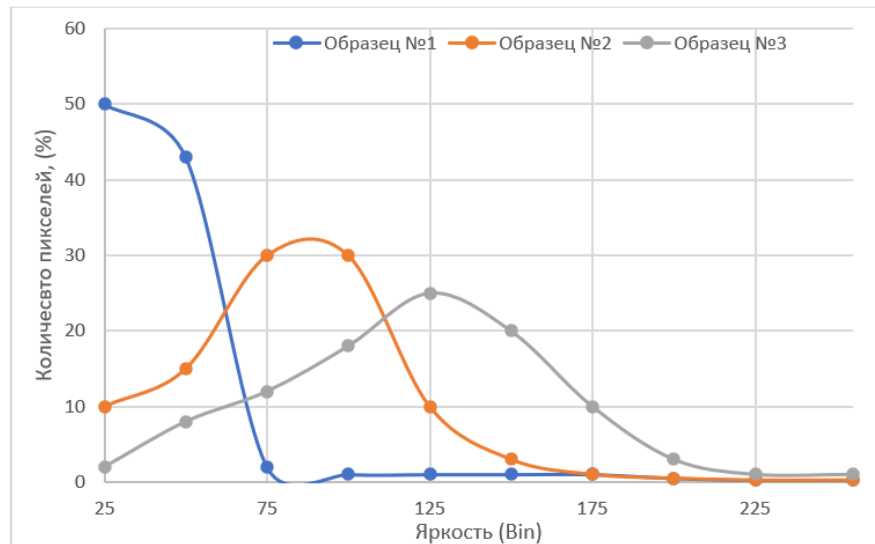


Рисунок 5 - Гистограмма распределения яркости
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.6>

Этап № 4. Количественный анализ и расчет энтропии. Целью этапа является количественное определение параметра однородности распределения наполнителя в композите.

Для бинарного изображения В размером МхN пикселей:

$$N_1 = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i, j) \quad \text{— количество пикселей, квалифицированных как фаза наполнителя (ТУ).}$$

$$N_0 = MN - N_1 \quad \text{— количество пикселей, квалифицированных как полимерная матрица (БК).}$$

Вероятность доли фазы наполнителя [9]:

$$p = N_1 / MN = N_1 / (N_1 + N_0) \quad (1)$$

Информационная энтропия Шеннона:

$$H(B) = -[p \log_2(p) + (1 - p) \log_2(1 - p)] \quad (2)$$

Тогда с учетом формулы (1) и (2) количественная оценка однородности распределения наполнителя [10]:

$$H(B) = - \left[\frac{N_1}{MN} \log_2 \left(\frac{N_1}{MN} \right) + \frac{N_0}{MN} \log_2 \left(\frac{N_0}{MN} \right) \right] \quad (3)$$

Этап № 5. Интерпретация результатов. Для трех образцов была рассчитана энтропия бинарного изображения по формуле (3):

$$H(B)_{\text{обр. №1}} = 0,24 \text{ Бит}; H(B)_{\text{обр. №2}} = 0,66 \text{ Бит}; H(B)_{\text{обр. №3}} = 0,97 \text{ Бит} \quad (4)$$

Для образца № 1 значение энтропии близко к минимальному. Низкая энтропия характерна для сильной агломерации или расслоения фаз: наполнитель сконцентрирован в крупных, хорошо различимых кластерах, разделённых областями чистой полимерной матрицы.

Для образца № 2 среднее значение энтропии указывает на умеренную неопределённость в распределении фаз. Это соответствует хорошо развитой сетчатой структуре, где наполнитель образует разветвлённую проводящую сетку без выраженной агломерации. Такое состояние системы является оптимальным для большинства функциональных свойств композита.

Для образца № 3 значение энтропии близко к теоретическому максимуму (1 бит), что свидетельствует о максимальной неопределённости (хаотичности) системы. Распределение наполнителя идеально однородно и случайно; столь высокая энтропия достигается при доле наполнителя $p=0$. Для системы «бутилкаучук — технический углерод» это может означать либо недостаточную концентрацию проводящей фазы для формирования сплошной сетки

(близко к порогу перколяции), либо избыточно мелкодисперсное распределение, не обеспечивающее формирования устойчивых проводящих цепей.

Таким образом из трех приведенных образцов в качестве нагревательного элемента рекомендуется использовать образец № 2.

Применение в качестве нагревательного элемента композиционного обогревателя с электропроводящим материалом из технического углерода по сравнению с ТЭН при равной мощности, позволит:

- за счет равномерного нагрева воды, греются стенки и донный контур, в отличие от погружного ТЭНа, обезопасить животных от ожогов, добиться равномерно нагрева воды;
- животные будут получать чистую воду, за счет отсутствия прямого контакта композиционного обогревателя с водой, не будет следов накипи и частиц железа.

Обсуждение

Результатами исследования являются: подтвержденная экспериментально стабильность поддержания заданного температурного режима воды разработанной системой. График двухпозиционного регулирования температуры наглядно демонстрирует принцип работы системы управления обогревом (рис. 6 а, б).

Алгоритм работы температурного контроллера ТРМ500:

Если температура < (Уставка 8 °С – Гистерезис 2 °С) → НАГРЕВ ВКЛ → U = 100%.

Если температура > (Уставка 8 °С + Гистерезис 2 °С) → НАГРЕВ ВЫКЛ → U = 0%

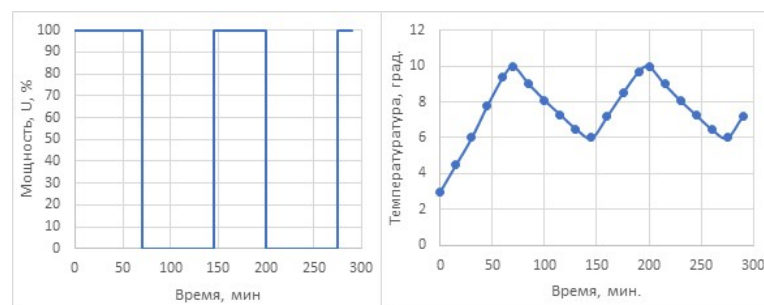


Рисунок 6 - График регулирования температуры

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.7>

Примечание: а) регулирование по двухпозиционному закону; б) зависимость мощности от времени работы нагревателя

Для выбора композиционного обогревателя применен метод информационной энтропии, который позволил количественно дифференцировать по критерию оптимальности структуры для целевой функции. Для нагревательного элемента на основе полимерного композита оптимальной является не максимальная случайность ($H \rightarrow 1$), а структура с развитой, но не избыточной, перколирующей сеткой, соответствующая диапазону $H \approx 0,56-0,85$ бит. Образец № 2 ($H=0,66$ бит) попадает в этот диапазон и был выбран для дальнейшего использования, так как его микроструктура гарантирует равномерное тепловыделение, стабильность параметров и, как следствие, надёжность работы всей системы обогрева поилки. В таблице 2 приведены основные значения энтропии с качественными показателями композиционных материалов.

Таблица 2 - Показатели энтропии

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.8>

Энтропия H, бит	Качественная оценка однородности	Состояние проводящей сетки	Механизм проводимости	Визуальная аналогия
0,00–0,30	Неудовлетворительная Выраженная агломерация	Изолированные кластеры, нет перколирующей сетки	Туннелирование между близкими агломератами	Крупные тёмные острова в светлом море
0,31–0,55	Плохая Локальная неоднородность	Фрагментированные проводящие пути, высокое сопротивление	Комбинация туннелирования и ограниченной перколяции	Несколько соединённых кластеров
0,56–0,70	Удовлетворительная Начало/граница перколяции	Формируется бесконечный кластер, но с «узкими местами»	Перколирующая сетка с высоким сопротивлением переходов	Паутина с тонкими нитями

Энтропия Н, бит	Качественная оценка однородности	Состояние проводящей сетки	Механизм проводимости	Визуальная аналогия
0,71–0,85	Хорошая Оптимальная дисперсность	Развитая однородная сетка, минимальное сопротивление	Идеальная перколирующая сетка с малым сопротивлением контактов	Равномерная мелкая сетка

Показано, что высокая энтропия структуры (соответствующая её максимальной неупорядоченности) приводит к тому, что электропроводность материала становится статистически нестабильной величиной, что делает такой материал непригодным для использования в прецизионных электротехнических системах, требующих высокой повторяемости параметров.

Для оценки стабильности и надежности поилки с композиционным обогревателем, в зимний период были проведены испытания, результаты приведены на рисунке 7:

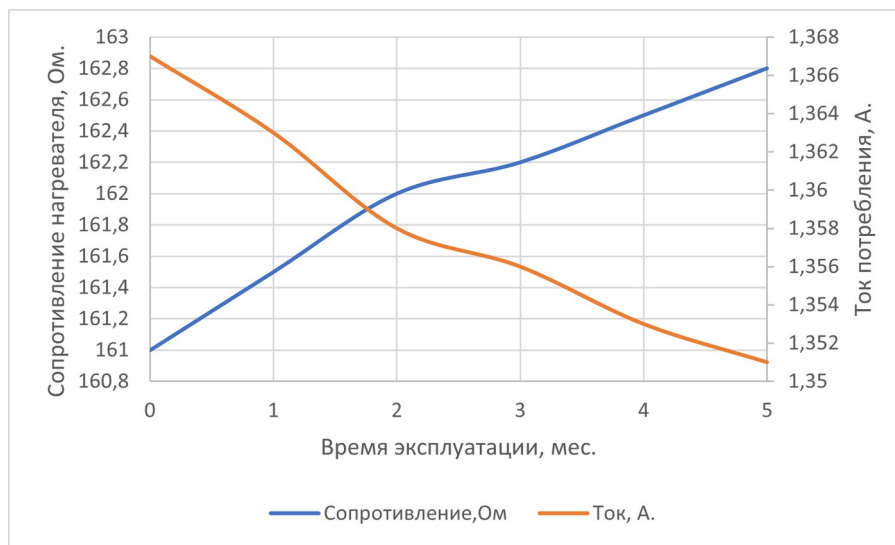


Рисунок 7 - Изменение электрических и тепловых параметров композитного нагревателя в течение 5 месяцев непрерывной эксплуатации

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.9>

Из рисунка видно, что отклонение сопротивления не превышает +1,1%, тока 1,2%, что может свидетельствовать о высокой стабильности электропроводящего материала, использованного при изготовлении композиционного обогревателя.

Экономические показатели сравнения поилки с композиционным обогревателем и обогревателя с ТЭНом представлены в таблице 3:

Таблица 3 - Экономические показатели сравнения поилки с композиционным обогревателем и обогревателя с ТЭНом

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.10>

Параметр	Композитная поилка	Поилка с ТЭНом
Потребляемая мощность (средняя в режиме нагрева), Вт	300	360
Капитальные затраты	71000	62000
Стоимость электроэнергии, руб./кВт*ч	7,07	7,07
Срок службы, лет	10 (не требует замены)	3 (замена каждые 3 года)
Стоимость замены ТЭНа (с работой), руб.	0	3000
Очистка от накипи (раз в год для ТЭНа), руб./год	0	500 (материалы + работа)
Коэффициент включения (доля)	0,5 (12 ч/сутки)	0,575 (из-за большего

Параметр	Композитная поилка	Поилка с ТЭНом
времени работы нагрева в сутки)		гистерезиса и точечного нагрева, +15%)

Коэффициент включения для ТЭНа принят выше, так как вода остывает быстрее между циклами из-за меньшей тепловой инерции и неравномерности прогрева.

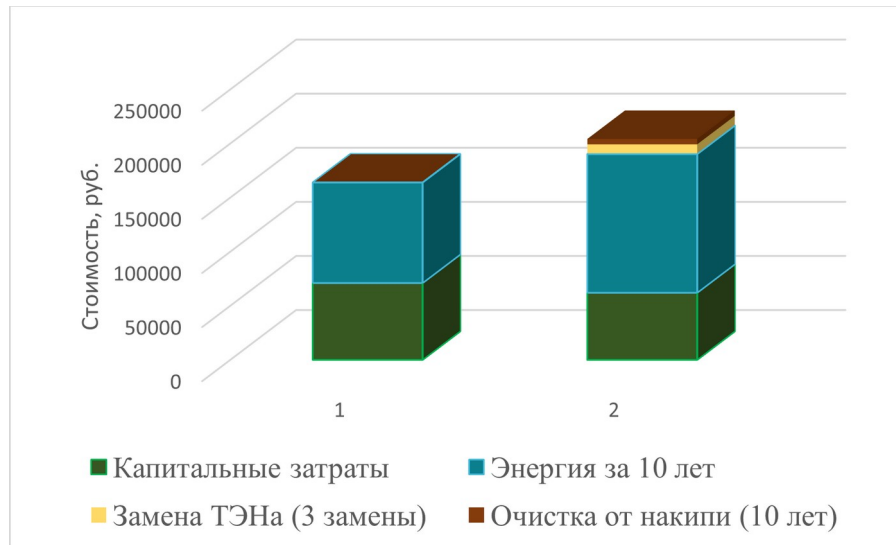


Рисунок 8 - Совокупная стоимость владения за 10 лет для поилки с композиционным обогревателем и поилки с ТЭНом
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.11>

Из рисунка 8 видно, что использование поилки с композиционным обогревателем (1) за 10 лет составляет 163 900 руб., аналогичная поилка с ТЭНом (2) — 204 180 руб. Дополнительные инвестиции в размере 9 000 руб. окупаются менее чем за 2 года за счёт снижения энергопотребления и эксплуатационных расходов, за 10 лет эксплуатации обеспечивается экономия более 40 000 руб.

Заключение

1. Разработана конструкция энергоэффективной поилки с интегрированным композиционным нагревателем.
2. Предложена и апробирована методика объективного выбора оптимального образца токопроводящего полимерного композита на основе максимизации информационной энтропии распределения яркости на микрофотографиях, что обеспечивает равномерность тепловыделения.
3. Спроектирована и реализована надежная система автоматического управления на базе промышленного терморегулятора ТРМ500.
4. Рассчитан экономический эффект от внедрения поилки с композиционным обогревателем.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.12>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Community of Reviewers of the International Research Journal
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.166.66.12>

Список литературы / References

1. Попов Р.А. Некоторые физиологические механизмы адаптации якутских лошадей к экстремальным климатическим условиям Крайнего Севера : дис. ... канд. наук : 03.00.13 / Р.А. Попов. — Якутск, 2002. — 140 с.
2. Родионов Г.В. Основы животноводства / Г.В. Родионов, Ю.А. Юлдашбаев, Л.П. Табакова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 564 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/356171> (дата обращения: 04.02.2026).
3. Лопалева Н.Л. Основные источники водоснабжения сельскохозяйственных животных и качество воды / Н.Л. Лопалева // Актуальные проблемы развития агропромышленного комплекса России : сборник тезисов, подготовленный в рамках круглого стола. — Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2022. — Т. 2. — С. 320–321. — EDN GRKGHP.



4. Самсонова У.С. К вопросу выбора поилок для КРС / У.С. Самсонова, Я.О. Харьков // Виртуозы науки : сборник тезисов Международной научно-практической конференции студентов и молодых учёных за 2023 г. — Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, 2024. — С. 514–515. — EDN KZKWSO.
5. Адаменко Н.А. Полимерные композиционные материалы : учебно-методическое пособие / Н.А. Адаменко, Г.В. Агафонова, А.В. Фетисов. — Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2016. — 96 с. — EDN WDAVRL.
6. Халина Т.М. Многоэлектродные системы низкотемпературных композиционных электрообогревателей для агропромышленного комплекса : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.02 / Т.М. Халина. — Барнаул, 2005. — 445 с.
7. Халина Т.М. Системы обогрева на основе наноструктурных композиционных электрообогревателей / Т.М. Халина, М.В. Халин, А.Б. Дорош [и др.] // Электротехника. — 2018. — № 12. — С. 21–29.
8. Машкин А.В. Использование энтропийных мер в задачах оценки информативности признаков распознавания образов / А.В. Машкин // Программные продукты и системы. — 2009. — № 4. — 23 с. — EDN NQXPMZ.
9. Осокин А.Н. Теория информации : учебное пособие / А.Н. Осокин, А.Н. Мальчуков. — Томск : Томский политехнический университет, 2014. — 2006 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/62935> (дата обращения: 04.02.2026).
10. Иванкин М.П. Теория информации: энтропия источников сообщений и кодирование информации / М.П. Иванкин, С.Л. Кенин, В.В. Сафронов. — Воронеж : Воронежский государственный университет, 2021. — 54 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/455108> (дата обращения: 04.02.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Popov R.A. Nekotorye fiziologicheskie mekhanizmy adaptacii yakutskikh loshadej k ekstremal'nym klimaticheskim usloviyam Krajnego Severa [Some physiological mechanisms of adaptation of Yakut horses to the extreme climatic conditions of the Far North] : dis. ... of PhD : 03.00.13 / R.A. Popov. — Yakutsk, 2002. — 140 p. [in Russian]
2. Rodionov G.V. Osnovy zhivotnovodstva [Fundamentals of animal husbandry] / G.V. Rodionov, Yu.A. Yuldashbaev, L.P. Tabakova. — 4th edition, stereotyped. — Saint Petersburg : Lan', 2024. — 564 p. — URL: <https://e.lanbook.com/book/356171> (accessed: 04.02.2026). [in Russian]
3. Lopaeva N.L. Osnovnye istochniki vodosnabzheniya sel'skokhozyajstvennykh zhivotnykh i kachestvo vody [Main sources of water supply for farm animals and water quality] / N.L. Lopaeva // Aktual'nye problemy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Current problems of development of the agro-industrial complex of Russia] : collection of abstracts prepared within the framework of the round table. — Yekaterinburg : Ural State Agrarian University, 2022. — Vol. 2. — P. 320–321. — EDN GRKGHP. [in Russian]
4. Samsonova U.S. K voprosu vybora poilok dlya KRS [On the issue of choosing drinkers for cattle] / U.S. Samsonova, Ya.O. Kharkova // Virtuozы науки [Virtuosos of science] : collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists for 2023. — Krasnodar : Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2024. — P. 514–515. — EDN KZKWSO. [in Russian]
5. Adamenko N.A. Polimernye kompozicionnye materialy [Polymer composite materials] : teaching manual / N.A. Adamenko, G.V. Agafonova, A.V. Fetisov. — Volgograd : Volgograd State Technical University, 2016. — 96 p. — EDN WDAVRL. [in Russian]
6. Khalina T.M. Mnogoelektrodnye sistemy nizkotemperaturnykh kompozicionnykh elektroobogrevatelej dlya agropromyshlennogo kompleksa [Multielectrode systems of low-temperature composite electric heaters for the agro-industrial complex] : dis. ... of Grand PhD in Engineering : 05.20.02 / T.M. Khalina. — Barnaul, 2005. — 445 p. [in Russian]
7. Khalina T.M. Sistemy obogreva na osnove nanostrukturnykh kompozicionnykh elektroobogrevatelej [Heating systems based on nanostructured multielectrode composite electric heaters] / T.M. Khalina, M.V. Khalin, A.B. Dorosh [et al.] // Elektrotehnika [Electrical engineering]. — 2018. — № 12. — P. 21–29. [in Russian]
8. Mashkin A.V. Ispol'zovanie ehntropijnykh mer v zadachakh ocenki informativnosti priznakov raspoznavaniya obrazov [The use of entropy measures in problems of estimating the information content of pattern recognition features] / A.V. Mashkin // Programmnye produkty i sistemy [Software & Systems]. — 2009. — № 4. — 23 p. — EDN NQXPMZ. [in Russian]
9. Osokin A.N. Teoriya informacii [Information Theory] : study guide / A.N. Osokin, A.N. Malchukov. — Tomsk : Tomsk Polytechnic University, 2014. — 2006 p. — URL: <https://e.lanbook.com/book/62935> (accessed: 04.02.2026). [in Russian]
10. Ivankin M.P. Teoriya informacii: entropiya istochnikov soobshchenij i kodirovanie informacii [Information theory: message source entropy and information coding] / M.P. Ivankin, S.L. Kenin, V.V. Safronov. — Voronezh : Voronezh State University, 2021. — 54 p. — URL: <https://e.lanbook.com/book/455108> (accessed: 04.02.2026). [in Russian]