

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА

ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

УДК 636.4.053.083.39

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-3-335-345>

Поступила в редакцию 19.03.2018

Received 19.03.2018

Л. С. Герасимович¹, И. П. Шейко², А. Н. Косько¹

¹Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

²Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь

РАЗРАБОТКА РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИК ОБЛУЧЕНИЯ ПОРΟΣЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ ПО АНАЛИЗУ ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Аннотация: Актуальность исследования определяется необходимостью снижения энергоёмкости производства продукции в интенсивном животноводстве. Последнее возможно на основе использования инновационных методов и технических средств интеллектуального управления сложными биотехническими системами с идентификацией поведения животных и управлением с использованием средств видеонаблюдения. В статье приведены результаты экспериментальных исследований энергоэкономической эффективности автоматизированной системы инфракрасного облучения поросят-отъемышей с режимами облучения, установленными по анализу видеонаблюдения поведения животных. В качестве этологического признака для анализа поведения животных был принят признак расположения животных по площади пола относительно теплового источника – темного инфракрасного облучателя. В результате экспериментальных исследований на основании данных видеонаблюдения были определены режимы ИК облучения по статистическому анализу этологического признака расположения животных относительно теплового источника ИК облучения. Данные режимы были занесены в программу микроконтроллера, в течение 20 дней опытная группа животных подвергалась ИК облучению по установленным режимам. В результате эксперимента было установлено, что разработанные режимы ИК облучения позволяют получить дополнительную выручку 2,97 руб/гол, в том числе обеспечивают экономический эффект на обогреве 0,89 руб/гол. Разработанные режимы ИК облучения поросят-отъемышей исключают общее отопление. Автоматизированная установка ИКОВ-1 позволяет обрабатывать энергоэффективные зооигиенические режимы содержания животных на основе обработки данных и инструментария видеонаблюдения с использованием датчика температуры воздуха в зоне ИК облучения. **Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках договора Т18М-001 «Комплексное энергообеспечение управляемых биотехнических систем в аграрном производстве с использованием возобновляемых источников энергии».

Ключевые слова: интенсивное животноводство, энергоэффективность, инфракрасное облучение, видеонаблюдение, свиноводство, поросята-отъемыши, микроклимат, этология, поведение животных

Для цитирования: Герасимович, Л. С. Разработка режимных параметров ИК облучения поросят-отъемышей по анализу поведения животных с использованием видеонаблюдения / Л. С. Герасимович, И. П. Шейко, А. Н. Косько // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2018. – Т. 56, №3. – С. 335–345. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-3-335-345>

L. S. Gerasimovich¹, I. P. Sheiko², A. N. Kosko¹

¹The Institute of Power, the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry, Zhodino, Belarus

DEVELOPMENT OF MODE PARAMETERS OF IR IRRADIATION OF WEANERS ACCORDING TO ANALYSIS OF ANIMAL BEHAVIOUR USING VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM

Abstract: The research relevance is determined by the need to reduce the energy intensity of intensive livestock production. The latter is possible on the basis of innovative methods and technical means of intelligent management of complex biotechnical systems with identification of animal behaviour and control using video surveillance systems. The paper presents

the results of experimental researches of the energy efficiency of an automated infrared irradiation system for weaners with irradiation modes set according to analysis of video surveillance of animal behaviour. A sign for the location of animals along the floor area relative to a warm source – a dark infrared irradiator, was defined as an ethological sign for the analysis of animal behaviour. As a result of experimental studies, based on the video surveillance data, IR-irradiation modes were determined by statistical analysis of the ethological sign of the location of animals relative to the thermal source of IR-irradiation. These modes were recorded in the program of the microcontroller, within 20 days the experimental group of animals was exposed to IR-irradiation according to the established modes. It was determined that the developed irradiation modes ensure additional profit of 2.97 roubles per animal, including economic effect for heating of 0.89 roubles per animal. The developed IR irradiation modes for weaners exclude general heating requirement. The IKOV-1 automated plant allows to develop energy-efficient zoology hygienic modes for animals management based on data processing and video surveillance equipment using air temperature sensor in the IR irradiation area. **Acknowledgement.** This research was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research under the T18M-001 Contract “Integrated energy supply for controlled biotechnical systems in agricultural production using renewable energy sources”.

Keywords: intensive livestock breeding, energy efficiency, infrared irradiation, video surveillance, pig breeding, weaners, microclimate, ethology, animal behavior

For citation: Gerasimovich L.S., Sheiko I.P., Kosko A.N. Development of mode parameters of IR irradiation of weaners according to analysis of animal behaviour using video surveillance system. *Vestsi Natsyonal'nyy akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2018, vol. 56, no 3, pp. 335–345 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-3-335-345>

Введение. Экономическая эффективность интенсивного животноводства зависит от рационального содержания животных, которое в значительной мере определяется наличием оптимального микроклимата в помещениях [1]. Какими бы высокими породными и племенными качествами ни обладали животные, без создания необходимых условий микроклимата они не в состоянии сохранить здоровье и проявить свои потенциальные производительные способности. Следовательно, одним из важнейших условий успешного ведения свиноводства на промышленной основе является содержание поголовья в оптимальных условиях среды для каждой половозрастной группы. Обеспечение оптимального микроклимата помещения – важнейшее условие реализации продуктивных задатков свиней [2]. Особенно данное утверждение справедливо для поросят-отъемышей, механизм терморегуляции у которых хуже, чем у взрослых свиней [3]. Как следствие, важнейшее место в интенсивном свиноводстве занимают средства и методы обогрева животных, в частности молодняка. Широкое распространение сегодня получили системы инфракрасного облучения животных [4–6]. Согласно [7], ИК облучение способствует созданию оптимальных условий для содержания поросят-отъемышей на промышленной ферме и, следовательно, содействует увеличению их продуктивности и сохранности.

Согласно информационно-технологической концепции Industry 4.0 (четвертая промышленная революция), на современном этапе развития технологий неизбежна и необходима интеграция вычислительных ресурсов в физические процессы, что соответствует также смене пятого технологического уклада шестым [8].

Сельское хозяйство в целом и животноводство в частности в этом смысле не исключение. Повышение эффективности функционирования технологических процессов в аграрном производстве, согласно данной концепции, становится возможным путем внедрения в них интеллектуальных систем управления, в том числе использующих средства машинного зрения, видеонаблюдения и распознавания образов.

Применение видеонаблюдения в интенсивном животноводстве в общем случае позволит решить следующие задачи [9]:

- визуальное наблюдение реального местоположения, перемещения и поведения животных и других подвижных объектов;
- хранение истории координат и видеозаписей нахождения животных на территории станка в заданный промежуток времени;
- формирование данных об отклонении животного от маршрута движения или поведения;
- подача сигнала тревоги в реальном времени при отклонении от маршрута или ненормального поведения;
- наблюдение условий содержания животных и работы технологического оборудования;
- определение индивидуальной характеристики животного (положение тела в пространстве, полнотелость, телосложение, состояние шерстного покрова и кожи, присутствие или отсутствие выделений из носа, глаз);

- наблюдение акцентированного животного и определение структуры поведения (продолжительность лежания, стояния, кормления, поения, движения в станке);
- обнаружение больного животного путем селективного осмотра и наблюдения поведенческих реакций;

– наблюдение предродовых признаков и родов животного в специальном помещении.

В свою очередь, проблема анализа поведения животных, решаемая комплексно многими научными дисциплинами, имеет следующие практические задачи, которые во многом пересекаются с перечисленными задачами, решаемыми применением технологий машинного зрения [10–11]:

- разработать физиологические, генетические, этологические экспресс-методы оценки поведения популяций животных в производственных условиях;
- изучить феноменологию (внешнее проявление) поведения животных с целью установления норм для технологического проектирования;
- изучить все формы проявления поведения сельскохозяйственных животных в целях рациональной организации производства на животноводческих комплексах;
- определить допустимые пределы колебаний факторов внешней среды, в том числе микроклимата, оказывающих влияние на организм животных и их продуктивность;
- установить оптимальные режимы кормления и обогрева;
- определить величины групп животных, а также принципы формирования и перегруппировки животных;
- изучить баланс двигательной активности в условиях промышленного животноводства.

Анализ поведения животных с целью повышения энергоэффективности технологических процессов в животноводстве хорошо согласуется с применением видеонаблюдения.

Задача применения средств видеонаблюдения с целью визуального контроля животных [12, 13], в том числе идентификации поведения животных [14, 15], неоднократно описана в зарубежной литературе, однако с целью контроля и управления технологическими процессами такая задача не решалась и не ставилась.

Применительно для лучистого ИК обогрева поросят-отъемышей данный подход наиболее показателен, так как визуальный комфорт у них чаще всего тождественен физиологическому комфорту [16, 17].

Существующие методы контроля и поддержания оптимального микроклимата в животноводческом помещении не совершенны и базируются на нормировании показателей микроклимата, не учитывающих состояние животных в реальном времени [18, 19].

Повышение энергоэффективности технологических процессов интенсивного животноводства с использованием средств видеонаблюдения является актуальной задачей для снижения затрат различных ресурсов и, как следствие, повышения конкурентоспособности продукции отечественного сельского хозяйства [20–24].

Цель работы – разработка режима ИК-облучения поросят-отъемышей с учетом поведения животных.

Основная часть. Для оценки энергетической эффективности электротехнологии ИК облучения поросят-отъемышей с определением технологических режимных параметров системы ИК облучения с использованием средств видеонаблюдения поведения животных в экспериментально-опытной школе-ферме Научно-практического центра НАН Беларуси по животноводству в 2017–2018 гг. была спроектирована и смонтирована автоматизированная установка ИК облучения животных в комплексе с системой видеонаблюдения ИКОВ-1.

Установка ИКОВ-1 способна поддерживать при автоматическом и ручном управлении исследуемый программный режим ИК облучения поросят-отъемышей. Обратная связь в системе управления облучением осуществляется по температуре воздуха. В табл. 1 представлен перечень и характеристики оборудования, входящего в систему ИК облучения животных.

Датчик температуры установлен на высоте подвеса облучателей в месте непрямого попадания ИК облучения. Высота подвеса облучателей установлена экспериментально и равна 1,25 м.

В табл. 2 представлен перечень и характеристики оборудования, входящего в систему видеонаблюдения за животными.

На рис. 1 показана схема расположения оборудования экспериментальной установки ИКОВ-1.

Т а б л и ц а 1. Оборудование системы ИК облучения

T a b l e 1. Equipment for IR irradiation system

Оборудование	Кол-во, ед.	Характеристика
Электрический ИК излучатель с двумя эманационными пластинами	2	Мощность 2,2 кВт, напряжение 380 В
Датчик температуры	2	1-WIRE, ± 1 °С, IP66. Установлен в месте непрямого попадания ИК-облучения
Шкаф силовых симисторных коммутаторов	1	Встроенные оптоизолированные формирователи синхроимпульсов
Электронный трехфазный счетчик СЭТ7007	1	Обеспечение задания: до 48 тарифных зон в сутки, дискретность – 30 мин
Блок автоматических выключателей	1	Защита от коротких замыканий, защита от перегрева. 380 В, IP54
Микропроцессорный модуль программного управления	1	Возможность программного управления режимом ИК облучения для каждого часа в сутки
Микропроцессорный модуль ручного управления	1	Возможность ручного 20-позиционного управления

Т а б л и ц а 2. Оборудование системы видеонаблюдения за животными

T a b l e 2. Equipment for animals video surveillance system

Оборудование	Характеристика
Поворотная IP видеокамера	Поворотная PTZ камера; 2Мп; 1920×1080. Класс защиты: IK10, IP66
Коммутатор-регистратор системы видеонаблюдения	Максимальное разрешение подключаемых видеокамер: 6 Мп
Жесткий диск для записи видеoarхива	HDD 1 ТБ
Блок питания	220В/12В; 5А; 60Вт

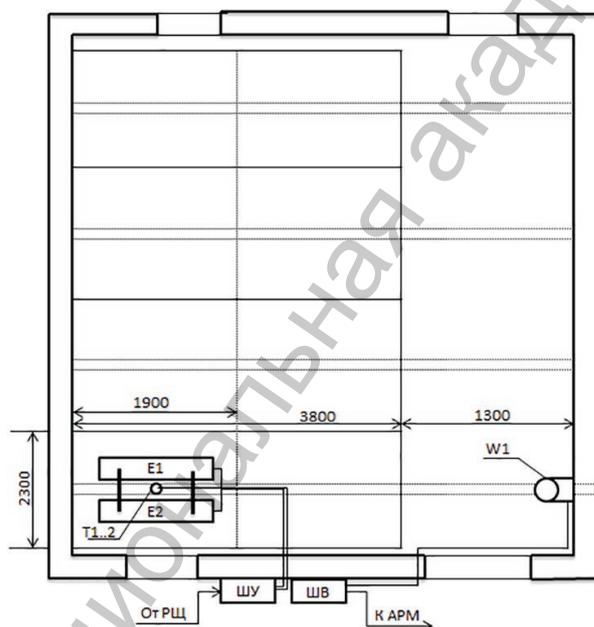


Рис. 1. Схема расположения оборудования экспериментальной установки ИКОВ-1: E1, E2 – ИК излучатели; W1 – видеокамера; T1, T2 – цифровые датчики температуры; ШУ – шкаф управления; ШВ – шкаф видеорегистратора; АРМ – автоматизированное рабочее место; РЩ – распределительный щит

Fig. 1. Layout of equipment of IKOV-1 experimental plant: E1, E2 – IR irradiators; W1 – video camera; T1, T2 – digital temperature sensors; ШУ – control cabinet; ШВ – DVR system cabinet; АРМ – automated workstation; РЩ – switchboard

Видеокамера закреплена на настенном кронштейне на высоте 2,2 м таким образом, чтобы излучатели не заслоняли обзор животных и отсутствовали зоны невидимости в области содержания животных.

В схему опыта были включены две группы животных: контрольная и опытная, по 24 поросенка в каждой. Обогрев в контрольной группе осуществлялся общей отопительно-вентиляционной системой в комплексе с обогреваемыми ковриками. Обогрев опытной секции осуществлялся темными ИК облучателями.

Опыт проводили на поросятах-отъемышах, начальный возраст которых составлял 2 месяца, в течение 20 дней. Порода животных – белорусская мясная. Кормление в обеих группах сухое (комбикормовая смесь СК-21), проводилось по графику: первое кормление – в 9:00, далее – через 3 ч, до 21:00.

Эксперимент проводили в холодное время года (I квартал 2018 г.) в течение 20 дней. Начало экспе-

римента – 5 февраля 2018 г. Окончание эксперимента – 24 февраля 2018 г.

В качестве этологического признака для анализа было принято расположение животных по площади пола относительно ИК облучателей. Целесообразность анализа данного признака поведения обоснована в работе [21].

На основании анализа данных видеонаблюдения были выявлены характерные периоды, во время которых животные специфически располагались относительно ИК облучателей: период до кормления, во время кормления, после кормления, в промежутке между кормлениями.

Далее для статистического анализа расположения животных площадь пола экспериментального бокса была разделена на три зоны, как показано на рис. 2: зона активного облучения, или зона прямого попадания ИК облучения, геометрические параметры которой были определены экспериментально (1); остальная площадь пола без зоны кормления (2); зона кормления (3).

Температура воздуха в помещении на протяжении наблюдений составляла 22 °С, что соответствует зоотехническим требованиям содержания.

На протяжении трех дней количество животных, находящихся в указанный интервал времени в одной из зон до установки в программу микроконтроллера режимных параметров ИК облучения, заносилось в таблицу обработки первичных данных. Диаграмма, составленная на основании средних значений данной таблицы, приведена на рис. 3.

Как видно из диаграммы, до определения и внесения в программу микроконтроллера режимных параметров ИК облучения расположение животных имело характерные максимумы и минимумы. Перед первым кормлением (с 7:00 до 9:00) животные тесно располагались в зоне прямого попадания ИК облучения (рис. 4, а). В момент кормления (с начала каждого периода кормления в течение 30 мин) животные преимущественно располагаются рядом с кормушкой

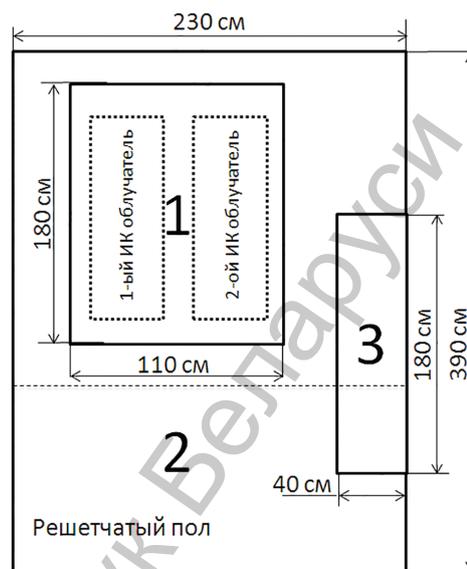


Рис. 2. Зоны бокса содержания поросят-отъемышей

Fig. 2. Areas of box for weaners management

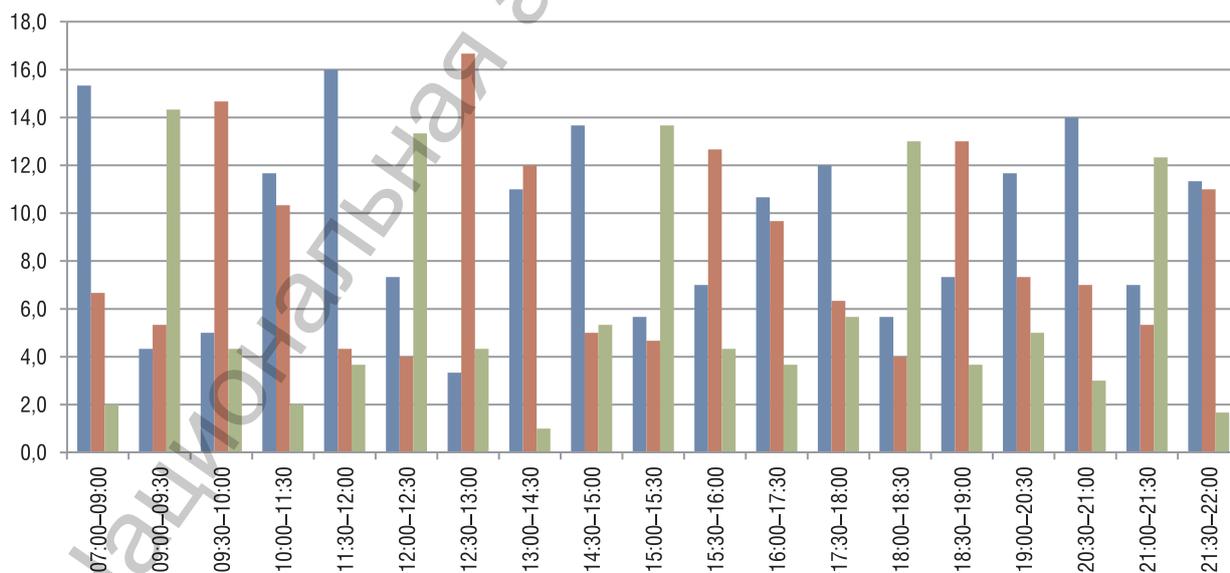


Рис. 3. Диаграмма расположения поросят-отъемышей в характерных зонах до установления режимов ИК облучения: первый столбец – количество животных в первой зоне, второй столбец – во второй зоне, третий – в третьей зоне

Fig. 3. Diagram of weaners location in specific areas prior to IR irradiation modes setting: the first column – number of animals in the first area, the second column – in the second area, the third – in the third area

(рис. 4, *b*). Непосредственно после кормления (30 мин после каждого кормления) животные преимущественно располагаются вне активной зоны облучения, т.е. зоны прямого попадания ИК облучения (рис. 4, *c*). Непосредственно перед вторым и последующими кормлениями (за 30 мин до начала) животные также тесно располагались в активной зоне облучения, температура воздуха также должна быть повышена, так как животные успевают проголодаться (рис. 4, *d*). В ночное время (с 22:00 до 07:00) поросята располагались близко друг к другу.



Рис. 4. Расположение животных в характерные периоды суток: *a* – перед кормлением, 7.00–9.00; *b* – в момент кормления; *c* – после кормления; *d* – в ночное время, 22.00–01.00

Fig. 4. Location of animals during specific periods of the day: *a* – prior to feeding, 7.00–9.00; *b* – during feeding; *c* – after feeding; *d* – at night, 22.00–01.00

На основании статистического анализа расположения животных были сделаны следующие выводы. Перед первым кормлением температура воздуха в помещении должна быть увеличена. В момент кормления ИК облучатели могут работать на минимальной мощности, позволяющей не остывать конструкции облучателя и зоне активного облучения. Непосредственно после кормления температура воздуха должна быть снижена, в свою очередь, перед вторым и последующими кормлениями температура воздуха должна быть повышена, так как животные успевают проголодаться. Поскольку плотное расположение значительно сокращает общую площадь теплообмена животных, температура воздуха в ночной период может быть снижена. В течение дня температура воздуха в локальной зоне обогрева может быть снижена из-за теплопотерь животных. На основании статистического анализа поведения животных по данным видеонаблюдения составлена технологическая режимная таблица (табл. 3).

Данные табл. 3 были занесены в программу микроконтроллера. В течение 20 дней ИК облучатели работали по заданной программе.

В конце эксперимента снова был проведен статистический анализ расположения животных (рис. 5).

Как видно из диаграммы, после установления режимов ИК облучения в программу микроконтроллера в характерные периоды животные стали располагаться относительно тепловых источников равномерно по всей площади пола, что объясняется комфортным состоянием животных. Максимумы расположения животных наблюдались лишь во время кормления (не более часа), когда животные стремились занять место около кормушки. В табл. 4 приведены результаты эксперимента.

Т а б л и ц а 3. Технологическая таблица температурных режимов ИК облучателей

Table 3. Process table of IR irradiators temperature modes

№	Время	Режим работы ИК облучателей
1	07:00–09:00	Поддержание температуры воздуха 24 °С
2	09:00–09:30	Работа на минимальной мощности (10 %)
3	09:30–10:00	Работа на минимальной мощности (10 %)
4	10:00–11:30	Поддержание температуры воздуха 20 °С
5	11:30–12:00	Поддержание температуры воздуха 23 °С
6	12:00–12:30	Работа на минимальной мощности (10 %)
7	12:30–13:00	Работа на минимальной мощности (10 %)
8	13:00–14:30	Поддержание температуры воздуха 19 °С
9	14:30–15:00	Поддержание температуры воздуха 22 °С
10	15:00–15:30	Работа на минимальной мощности (10 %)
11	15:30–16:00	Работа на минимальной мощности (10 %)
12	16:00–17:30	Поддержание температуры воздуха 19 °С
13	17:30–18:00	Поддержание температуры воздуха 22 °С
14	18:00–18:30	Работа на минимальной мощности (10 %)
15	18:30–19:00	Работа на минимальной мощности (10 %)
16	19:00–20:30	Поддержание температуры воздуха 18 °С
17	20:30–21:00	Поддержание температуры воздуха 21 °С
18	21:00–21:30	Работа на минимальной мощности (10 %)
19	21:30–22:00	Работа на минимальной мощности (10 %)
20	22:00–07:00	Поддержание температуры воздуха 18 °С

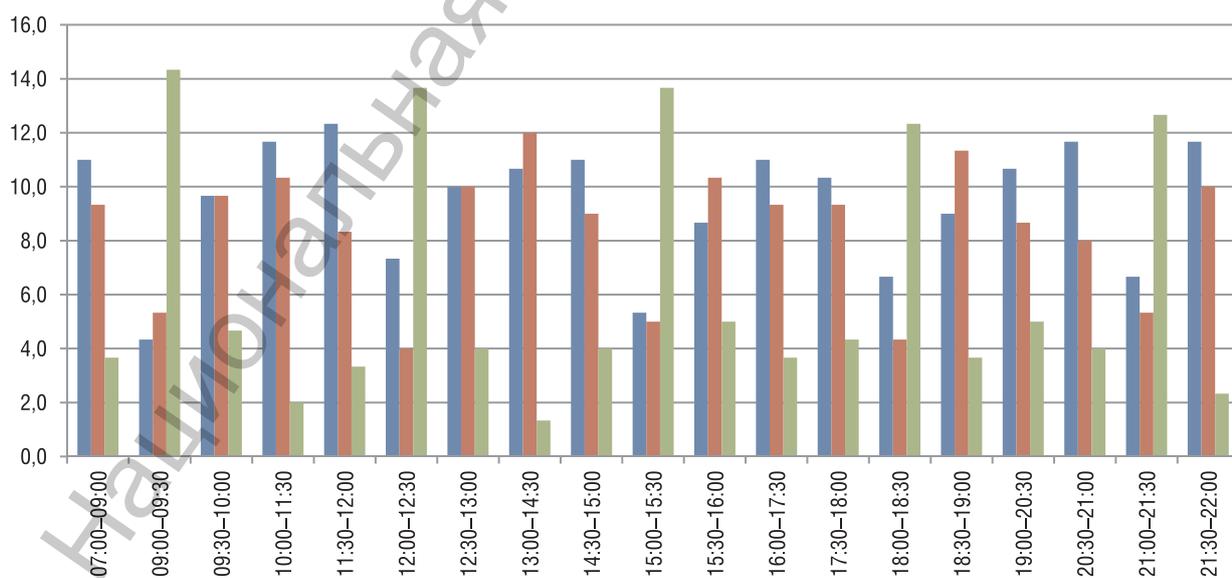


Рис. 5. Диаграмма расположения поросят-отъемышей в характерных зонах после установления режимов ИК облучения

Fig. 5. Diagram of weaners location in specific areas after IR irradiation modes setting

Т а б л и ц а 4. Результаты эксперимента

T a b l e 4. Experiment results

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Поставлено на опыт, гол.	24	24
Снято с опыта, гол.	22	22
Сохранность, %	91,7	91,7
Масса животных, кг:		
в начале эксперимента	279	278
в конце эксперимента	366	378
Привес за период дорастивания, кг	87	100
Затраты электроэнергии на обогрев, кВтч	561,6	633,6
Затраты газа на обогрев, м ³	272	

Расход электроэнергии определен по разнице показаний счетчиков, установленных в контрольной и опытной секциях. Расчет показал, что электрообогреваемые полы, мощностью 1,3 кВт на одну группу животных с общим отоплением, работали с коэффициентом использования 0,9. ИК облучатели работали с коэффициентом использования 0,3. Расход газа рассчитывали аналитически, исходя из конструктивных особенностей помещения и термического сопротивления ограждающих конструкций.

Поскольку эксперимент проводился с одной группой животных в секции с возможным содержанием четырех групп, полученные данные пропорционально экстраполировались на всю секцию. Шкаф управления и модуль видеорегистратора позволяют осуществить подключение по четырем каналам.

В табл. 5 приведены расчетные данные экономической эффективности установки ИКОВ-1.

Т а б л и ц а 5. Экономическая эффективность применения установки ИКОВ-1

T a b l e 5. Economic efficiency of the IKOV-1 plant

Показатель	Группа	
	контроль-ная	опытная
Расход электроэнергии, кВтч	2245,6	2534,4
Стоимость потребленной электроэнергии, руб.	426,7	481,5
Расход газа, м ³	272	–
Стоимость потребленного газа, руб.	133	–
Суммарные затраты на обогрев, руб.	559,7	481,5
Дополнительная прибыль на обогреве, руб.	–	78,2
Дополнительная прибыль на обогреве, %	–	14
Привес на дорастивании, кг	348	400
Дополнительная выручка на привесе, руб.	–	183,04
Дополнительный эффект от внедрения, руб.	261,24	
Стоимость продукции, руб/кг	3,52	
Стоимость газа, руб/тыс. м ³	488,89	
Стоимость электроэнергии, руб/кВтч	0,19	

Как видно из табл. 5, в результате проведенных исследований установлено, что использование установки ИКОВ-1 позволяет экономить на обогрев опытной секции 78,2 руб. в течение 20 дней и получить дополнительную выручку на привесе 183,04 руб. Общий экономический эффект составил 261,24 руб., или 2,97 руб/гол., в том числе 0,89 руб/гол. на обогреве.

Выводы

1. В результате экспериментальных исследований на основании данных видеонаблюдения были определены режимы ИК облучения по статистическому анализу этологического признака расположения животных относительно теплового источника ИК облучения. Данные режимы были занесены в программу микроконтроллера, в течение 20 дней опытная группа животных подвергалась ИК облучению по установленным режимам.

2. В результате эксперимента было установлено, что разработанные режимы ИК облучения позволяют получить дополнительную выручку 2,97 руб/гол, в том числе обеспечивают экономический эффект на обогреве 0,89 руб/гол.

3. Разработанные режимы ИК облучения поросят-отъемышей исключают общее отопление.

4. Автоматизированная установка ИКОВ-1 позволяет обрабатывать энергоэффективные зоогигиенические режимы содержания животных на основе обработки данных и инструментария видеонаблюдения с использованием датчика температуры воздуха в зоне их облучения.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках договора Т18М-001 «Комплексное энергообеспечение управляемых биотехнических систем в аграрном производстве с использованием возобновляемых источников энергии».

Список использованных источников

1. Повышение воспроизводительных качеств свиноматок породы ландрас в условиях племфермы промышленного типа / И.П. Шейко [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2017. – № 3. – С. 73–78.
2. Этология сельскохозяйственных животных / [Я. Гауптман и др. ; под общ. ред. Я. Гауптмана] ; пер. с чеш. Б.Н. Пакулева ; под ред. и с предисл. Е.Н. Панова. – М. : Колос, 1977. – 303 с.
3. *Растимешин, С.А.* Локальный обогрев молодняка животных (теория и технические средства) / С.А. Растимешин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 140 с.
4. *Расстригин, В.Н.* Использование энергосберегающих инфракрасных электрообогревателей в животноводческих помещениях / В.Н. Расстригин, А.С. Саркисян // Аграрная энергетика в XXI столетии : материалы 2-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–28 нояб. 2003 г. / Ин-т энергетики АПК НАН Беларусі [и др.]. – Минск, 2003. – С. 262–263.
5. Достоинства и потенциальные возможности систем ИК-обогрева / А.П. Ахрамович [и др.] // Энергоэффективность. – 2005. – № 7. – С. 10–12.
6. Электрические ИК-излучатели средней удельной мощности. О целесообразности прямого электроотопления / А.П. Ахрамович [и др.] // Энергоэффективность. – 2006. – № 12. – С. 16–19.
7. Ресурсосберегающая установка локального обогрева поросят / В.Н. Дашков [и др.] // Аграрная энергетика в XXI веке : материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–26 сент. 2001 г. / БелНИИагроэнерго ААН Респ. Беларусі [и др.] ; ред.: В.С. Котов [и др.]. – Минск, 2001. – С. 148–151.
8. *Бажов, Г.М.* Биотехнология интенсивного свиноводства / Г.М. Бажов, В.И. Комлацкий. – М. : Росагропромиздат, 1989. – 269 с.
9. *Башилов, А.М.* Электронно-оптическое зрение в аграрном производстве (системотехника построения и применения информационных оптических технологий) / А.М. Башилов ; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва. – М. : [б. и.], 2005. – 312 с.
10. *Лебедев, М.М.* Наука о поведении животных и актуальные задачи индустриального животноводства / М.М. Лебедев, В.И. Великжанин, Н.С. Софронов // Поведение животных в условиях промышленных комплексов : науч. тр. ВАСХНИЛ / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т разведения и генетики с.-х. животных ; редкол.: М.М. Лебедев, В.И. Великжанин. – М., 1979. – С. 5–14.
11. *Анохин, П.К.* Теория функциональной системы / П.К. Анохин // Успехи физиол. наук. – 1970. – Т. 1, № 1. – С. 19–54.
12. Automatic estimation of number of piglets in a pen during farrowing, using image analysis / M. Oczak [et al.] // Biosystems Engineering. – 2016. – Vol. 151. – P. 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.018>
13. A new approach for categorizing pig lying behaviour based on a Delaunay triangulation method / A. Nasirahmadi [et al.] // Animal. – 2017. – Vol. 11, N 1. – P. 131–139. <https://doi.org/10.1017/s1751731116001208>
14. *Shao, B.* A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs / B. Shao, H. Xin // Computers a. Electronics in Agriculture. – 2008. – Vol. 62, iss. 1. – P. 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.006>
15. *Nasirahmadi, A.* Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs / A. Nasirahmadi, S. A. Edwards, B. Sturm // Livestock Science. – 2017. – Vol. 202. – P. 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>
16. *Шейко, И.П.* Свиноводство : учебник / И.П. Шейко, В.С. Смирнов, Р.И. Шейко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 375 с.
17. Industry 4.0 / H. Lasi [et al.] // Business & Information Systems Engineering. – 2014. – Vol. 6, N4. – P. 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
18. Энергоэффективность аграрного производства / Нац. акад. наук Беларусі, Отд.-ние аграр. наук, Ин-т экономики, Ин-т энергетики ; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Л.С. Герасимовича. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 775 с.

19. Ракуцько, С. А. Методика оценки эффективности способа снижения энергоёмкости процесса облучения животных на основе учета их вероятностного поведения / С. А. Ракуцько // Изв. С.-Петербург. гос. аграр. ун-та. – 2008. – №9. – 168–173.

20. Герасимович, Л. С. Модель интеллектуального управления биотехнической системой ИК-облучения молодняка животных / Л. С. Герасимович, И. П. Шейко, А. Н. Косько // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук по животноводству. – Минск, 2016. – Т. 51, ч. 2 : Технология кормов и кормления, продуктивность. Технология производства, зоогигиена, содержание. – С. 144–150.

21. Косько, А. Н. Анализ поведенческих признаков животных как факторов интеллектуального управления технологическими параметрами инфракрасного облучения молодняка животных / А. Н. Косько // Молодежь в науке – 2015 : прил. к журн. «Вес. Нац. акад. наук Беларуси» : в 5 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых НАН Беларуси. – Минск, 2016. – Ч. 3 : Серия аграрных наук. – С. 120–123.

22. Герасимович, Л. С. Математическая модель управляемой биотехнической системы животноводческого комплекса на примере инфракрасного облучения поросят-отъемышей / Л. С. Герасимович, А. Н. Косько, А. В. Синенький // Систем. анализ и приклад. информатика. – 2017. – №3. – С. 33–39.

23. Косько, А. Н. Системная оценка биоэнергоэффективности продукции животноводства / А. Н. Косько // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : сб. науч. ст. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–27 нояб. 2015 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т ; ред.: М. А. Прищепов [и др.]. – Минск, 2015. – С. 209–211.

24. Косько, А. Н. Концептуальная и математическая модель управляемой биотехнической системы животноводческого комплекса на примере системы инфракрасного обогрева поросят-отъемышей / А. Н. Косько // Молодежь в науке – 2016 : сб. материалов Междунар. конф. молодых ученых, Минск, 22–25 нояб. 2016 г. : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси, Совет молодых ученых. – Минск, 2017. – Ч. 2 : Биологические, гуманитарные, медицинские, физико-математические, физико-технические, химические науки. – С. 303–309.

References

1. Sheiko I. P., Sheiko R. I., Pristupa N. V., Kazarovets I. N. Improving reproductive traits of sows of Landrace breed in conditions of breeding farm of industrial type. *Vesti Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2017, no. 3, pp. 73–78 (in Russian).

2. Hauptman J. (ed.). *Etologie hospodářských zvířat*. Praha : SZN, 1972. 294 p. (Russ. ed.: *Etologiya sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh*. Moscow, Kolos Publ., 1977. 303 p.)

3. Rastimeshin S. A. *Local heating of young animals (theory and technology)*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1991. 140 p. (in Russian).

4. Rasstrigin V. N., Sarkisyan A. S. Use of energy efficient infra-red electric heaters in livestock buildings. *Agrarnaya energetika v XXI-m stoletii: materialy 2-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Agrarian energy in the 21st century: materials of the II International scientific and technical conference]. Minsk, 2003, pp. 262–263 (in Russian).

5. Akhramovich A. P., Dmitriev G. M., Kolos V. P., Mikhalevich A. A. Advantages and potentialities of IR heating systems. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2005, no. 7, pp. 10–12 (in Russian).

6. Akhramovich A. P., Dmitriev G. M., Kolos V. P., Mikhalevich A. A. Electric IR-radiators of average specific power. On the rationale of direct electric heating. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2006, no. 12, pp. 16–19 (in Russian).

7. Dashkov V. N., Neverov A. I., Gutman V. N., Tsalko S. A., Rapovich S. P. Resource-saving unit for local heating of piglets. *Agrarnaya energetika v XXI veke: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, Minsk, 25–26 sentyabrya 2001 g.* [Agrarian energy in the XXI century: materials of the International scientific and technical conference, Minsk, September 25–26, 2001]. Minsk, 2001, pp. 148–151 (in Russian).

8. Bazhov G. M., Komlatskii V. I. *Intensive pig breeding biotechnology*. Moscow, Rosagropromizdat Publ., 1989. 269 p. (in Russian).

9. Bashilov A. M. *Electron-optical vision in agricultural production (system engineering of construction and application of information optical technologies)*. Moscow, 2005. 312 p. (in Russian).

10. Lebedev M. M., Velikzhanin V. I., Sofronov N. S. Animal behavior science and current problems of industrial livestock. *Povedenie zhivotnykh v usloviyakh promyshlennykh kompleksov* [Behavior of animals in industrial facilities]. Moscow, 1979, pp. 5–14 (in Russian).

11. Anokhin P. K. Theory of the functional system. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Advances in Physiology Sciences*, 1970, vol. 1, no. 1, pp. 19–54 (in Russian).

12. Oczak M., Maschat K., Berckmans D., Vranken E., Baumgartner J. Automatic estimation of number of piglets in a pen during farrowing, using image analysis. *Biosystems Engineering*, 2016, vol. 151, pp. 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.018>

13. Nasirahmadi A., Hensel O., Edwards S. A., Sturm B. A new approach for categorizing pig lying behaviour based on a Delaunay triangulation method. *Animal*, 2017, vol. 11, no. 1, pp. 131–139. <https://doi.org/10.1017/s1751731116001208>

14. Shao B., Xin H. A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2008, vol. 62, iss. 1, pp. 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2007.09.006>

15. Nasirahmadi A., Edwards S. A., Sturm B. Implementation of machine vision for detecting behaviour of cattle and pigs. *Livestock Science*, 2017, vol. 202, pp. 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.014>

16. Sheiko I. P., Smirnov V. S., Sheiko R. I. *Pig breeding*. Minsk, Information and Analytical Center of the Ministry of Finance, 2013. 375 p. (in Russian).

17. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>

18. Gusakov V. G., Gerasimovich L. S. (eds.). *Energy efficiency in agricultural production*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2011. 775 p. (in Russian).

19. Rakut'ko S. A. Methodology for assessing the effectiveness of the method for reducing energy intensity of animals irradiation based on their probabilistic behavior. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 2008, no. 9, pp. 168–173 (in Russian).

20. Gerasimovich L. S., Sheiko I. P., Kos'ko A. N. Model for intelligent control of biotechnological system of IR-radiation effect on young animals. *Zootehnicheskaya nauka Belarusi: sbornik nauchnykh trudov = Zootechnic Science of Belarus: collection of scientific papers*. Minsk, 2016, vol. 51, pt. 2, pp. 144–150 (in Russian).

21. Kos'ko A. N. Analysis of animal behavioral characteristics as factors of intelligent control over technological parameters of infrared irradiation of young animals. *Molodezh' v nauke – 2015: prilozhenie k zhurnalu "Vesti Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi"* [Young people in science – 2015: supplement to the journal "Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus"]. Minsk, 2016, pt. 3, pp. 120–123 (in Russian).

22. Gerasimovich L. S., Kos'ko A. N., Sinen'kii A. V. Mathematical model of the controlled biotechnical system of livestock facilities on the example of infrared irradiation of weaned pigs. *Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika = System Analysis and Applied Information Science*, 2017, no. 3, pp. 33–39 (in Russian).

23. Kos'ko A. N. System assessment of bioenergy efficiency of livestock products. *Energoberezhenie – vazhneishee usloviye innovatsionnogo razvitiya APK: sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii, Minsk, 26–27 noyabrya 2015 g.* [Energy conservation - the most important condition for innovative development of agro-industrial complex: a collection of scientific papers of the International scientific and technical conference, Minsk, November 26–27, 2015]. Minsk, 2015, pp. 209–211 (in Russian).

24. Kos'ko A. N. Conceptual and mathematical model of the controlled biotechnical system of livestock facilities on the example of the system of weaned pigs infrared heating. *Molodezh' v nauke – 2016: sbornik materialov Mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh, Minsk, 22–25 noyabrya 2016 g.* [Youth in Science – 2016: a collection of materials of the International conference of young scientists (Minsk, November 22–25, 2016)]. Minsk, 2017, pt. 2, pp. 303–309 (in Russian).

Информация об авторах

Герасимович Леонид Степанович – академик, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт энергетики, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая, 15, корп. 2, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: leonger@tut.by

Шейко Иван Павлович – академик, доктор с.-х. наук, профессор, первый заместитель генерального директора, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (ул. Фрунзе, 11, 222160 г. Жодино, Республика Беларусь). E-mail: belniig@tut.by

Косько Андрей Николаевич – аспирант, Институт энергетики, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая, 15, корп. 2, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kasko.andrej@gmail.com

Information about the authors

Gerasimovich Leonid S. – Academician, D. Sc. (Engineering), Professor. The Institute of Power, the National Academy of Sciences of Belarus (15, b. 2 Academicheskaya Str., Minsk 220072, Republic of Belarus). E-mail: leonger@tut.by

Sheyko Ivan P. – Academician, D. Sc. (Agricultural), Professor. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry (11 Frunze Str., Zhodino 222160, Republic of Belarus). E-mail: belniig@tut.by

Kosko Andrej N. – Postgraduate student. The Institute of Power, the National Academy of Sciences of Belarus (15, b. 2 Academicheskaya Str., Minsk 220072, Republic of Belarus). E-mail: kasko.andrej@gmail.com