

$$v(\tau_0, t) = \chi(t - \tau_0) - \delta \int_0^t v(\tau_0, s) ds .$$

Аналогично, при $\tau = 0$, получим:

$$v(0, t) = \chi(t) - \delta \int_0^t v(\tau_0, s) ds .$$

Таким образом, учитывая (19) и последнее выражение, получим:

$$\begin{cases} v(\tau_0, t) - \delta \int_0^t v(\tau_0, s) ds = \chi(t - \tau_0), \\ \chi(t) - \int_0^t c(t - \tau) \chi(\tau) d\tau = \delta \int_0^t v(\tau_0, s) ds \left(1 - \int_0^t c(\tau) d\tau \right) + f(t). \end{cases} \quad (20)$$

Следовательно, при $\tau > t$ решение задачи (V) эквивалентно решению системы интегральных уравнений (20) относительно интенсивности рождения новых особей $\chi(t)$ и численности популяции возраста τ_0 , т.е. $v(\tau_0, t)$.

Список использованных источников

- 1) Mak-Kendrick A.G. The theory of continuous probabilities. Proc., London Math. Soc., 23, 1914. – Pp.401-415.
- 2) Hoppensteadt F. An age dependent epidemic model. I. Franklin inst., 1974. – V. 291. – Pp. 325-333.
- 3) Busenberg S., Yanelli M. A class of nonlinear diffusion problems in age – dependent population dynamics. I. of nonlin. anal. theory and appl. №5, 1983. – Pp. 501-529.
- 4) Кайгермазов А.А., Кудаева Ф.Х., Сайег Т.Х. Математические модели динамики популяции с глобальной возрастной структурой. Актуальные проблемы науки. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). – Нефтекамск, 2014. – Т. 3. – С. 38-48.
- 5) Нахушев А.М. Нагруженные уравнения и их приложения. Дифференциальные уравнения, 1983. – Т.19. – №1. – С.86-94.
- 6) Эльсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. – М.: Наука, 1964. – 127с.

УДК 631.172:636

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ИК ОБЛУЧЕНИЯ ПОРОСЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ

Косько А.Н.

*Республиканское научно-производственное унитарное предприятие
«Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси»*

Согласно информационно-технологической концепции Industry 4.0, на современном этапе развития технологий необходима интеграция вычислительных ресурсов в физические процессы. 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 видеонаблюдения.

Применение инструментария видеонаблюдения позволяет решить следующие задачи [1]:

- визуальное наблюдение реального местоположения, перемещения и поведения животных и других подвижных объектов;
- формирование данных об отклонении животного от маршрута движения или поведения;

- подача сигнала тревоги в реальном времени при отклонении от маршрута или не нормального 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) и т.д.

Задача применения видеонаблюдения в системе управления микроклиматом ранее не решалась. Соответствующие алгоритмы управления и программные средства отсутствуют.

Научная новизна работы соответствует мировым трендам в отрасли. В начале 2018 года китайская корпорация Alibaba подписала контракт с компанией Dekon Group на разработку и внедрение системы, которая позволит следить за многомиллионным поголовьем свиней [2]. Сделка с Alibaba стоимостью в несколько миллионов долларов предполагает замену радиочастотной идентификации животных на технологию машинного зрения. Идея состоит в том, чтобы отслеживать животных с помощью камер, которые будут вести учет стада, ориентируясь на клейма с ID на их спинах. Первоначально система будет только пересчитывать свиней и поросят, но впоследствии Alibaba собирается ее усовершенствовать и предложить более комплексные решения.

С целью интеграции системы видеонаблюдения в процесс управления ИК облучением была разработана экспериментальная установка ИКОВ-1, включающая автономно функционирующие систему ИК облучения с программным управлением и систему видеонаблюдения.

Характеристики данных систем приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Перечень и характеристики оборудования системы ИК облучения

№	Оборудование	Кол-во	Характеристики
1	Электрический ИК-излучатель	2	2,2 кВт, 380В, IP65
2	Датчик температуры на высоте подвеса облучателей	2	1-WIRE, $\pm 1^{\circ}\text{C}$, IP66
3	Шкаф силовых симисторных коммутаторов	1	Встроенные оптоизолированные формирователи синхроимпульсов
4	Электронный трехфазный счетчик СЭТ7007	1	Обеспечение задания: текущего времени и даты; до 48 тарифных зон в сутки, с дискретностью 30 мин; до 15 суточных профилей; до 8 профилей недели; карты параметризации; параметров перехода на "летнее/зимнее" время; параметров автоматической индикации на ЖКИ.
5	Блок автоматических выключателей и электромагнитный пускатель	1	Защита от коротких замыканий, защита от перегрева. 380В, 2х4кВт, IP54
6	Микропроцессорный модуль программного управления МКР-24	1	Возможность программного управления режимом ИК облучения, отдельное управление эманационными пластинами. Программирование параметров регулирования. Дополнительный канал отслеживания предельной температуры для предотвращения аварийного перегрева при ошибках персонала и сбоях в онлайн управлении. IP65
7	Микропроцессорный модуль ручного управления МКР-22	1	Возможность ручного 20-позиционного управления, IP65

Таблица 2 – Перечень и характеристики оборудования системы видеонаблюдения за животными

№	Оборудование	Характеристики
1	Поворотная IP видео-камера	Поворотная PTZ камера; 2Мп; 1920x1080 25к/с, 0,05 лк @ F1.6 цвет /0.005 лк@ F1.6 ч/б. Моторизированный объектив с зуммированием; 12 В / PoE (802.3at); ONVIF 2.2; класс защиты: IK10, IP66; Рабочая температура от -40 до +60°С.
2	Коммутатор-регистратор системы видеонаблюдения	Максимальное разрешение подключаемых видеокамер: 6 Мп (3072x2048); 2 порта USB 2.0; число каналов: 4. Встроенный web-сервер, поддержка Android. Видеовыход BNC: 1 VGA / 1 HDMI. HTTP, TCP/IP, IPv4/IPv6, P2P, NTP
3	Жесткий диск для записи видеоархива	HDD 1ТБ; SATA 3.0 (6Gbps); 125/125 МБ/с
4	Блок питания	220В/12В; 5А; 60Вт

Объектом исследований являлись две секция для дорастивания молодняка свиней и поросята-отъемыши в возрасте 35-100 дней: один бокс одной секции с системой ИКОВ-1 (опытная группа), второй бокс в другой секции с общей отопительно-вентиляционной системой и подогреваемыми полами (контрольная группа).

На первом этапе исследования главной задачей являлось определение необходимых режимов ИК облучения на основании результатов анализа поведения животных с помощью видеонаблюдения.

Этологическим признаком, принятым для анализа, является расположение животных по площади пола относительно тепловых источников в различные периоды суток. Тепловым источником является ИК облучатели, подвешенные над животными на высоте 1,25 м.

Видеоряд снимался с постоянно работающего видеорегистратора со встроенным жестким диском, объемом 1 Тб, к которому была подключена поворотная PTZ IP видеокамера, передающая изображение в HD качестве.

На основании статистического анализа данных видеонаблюдения были выявлены периоды, во время которых животные ведут себя характерным образом, располагаясь относительно ИК облучателей: период до кормления, во время кормления, после кормления, в промежутке между кормлениями.

Для анализа площадь пола была разделена на три зоны: 1 – зона активного облучения, 2 – остальная площадь (в т.ч. зона дефекации – целевой пол), 3 – зона кормления.

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

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. В момент кормления (с начала каждого периода кормления в течение 30 мин) животные преимущественно располагаются рядом с кормушкой. Непосредственно после кормления (30 мин после каждого кормления) животные преимущественно располагаются вне активной зоны облучения, то есть зоны прямого попадания ИК облучения. 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. В ночное время (с 22:00 до 07:00) поросята располагались близко друг к другу.

На основании статистического анализа поведения животных по данным видеонаблюдения составлена технологическая таблица 3.

Таблица 3 – Технологическая таблица температурных режимов ИК облучателей

№	Время	Режим работы ИК облучателей
1	07:00-09:00	Поддержание температуры воздуха 24°C
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°C
5	11:30-12:00	Поддержание температуры воздуха 23°C
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°C
9	14:30-15:00	Поддержание температуры воздуха 22°C
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°C
13	17:30-18:00	Поддержание температуры воздуха 22°C
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°C
17	20:30-21:00	Поддержание температуры воздуха 21°C
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°C

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

В течение работы установки по заданным режимам было повторно проанализировано положение животных в характерных зонах.

Было установлено, что 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 таблице 4 приведены результаты эксперимента.

Таблица 4 – Результаты эксперимента

Показатели	Группа	
	контрольная	опытная
Поставлено на опыт, гол.	24	24
Снято с опыта, гол.	22	22
Сохранность, %	91,7	91,7
Масса животных в начале эксперимента, кг	279	278
Масса животных в конце эксперимента, кг	366	378
Привес за период дорастивания, кг	87	100

В таблице 5 приведены данные расхода газа и электроэнергии.

Таблица 5 – Расход газа и электроэнергии

Показатели	Группа	
	контрольная	опытная
Затраты электроэнергии на обогрев, кВтч	561,6	633,6
Затраты газа на обогрев, м ³ (кВтч)	272 (740)	–

Расход электроэнергии определен по разнице показаний счетчиков, установленных отдельно 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 рассчитывался 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 таблице 6 приведены экономические показатели от внедрения системы ИК облучения совместно с системой управления по поведению животных.

Таблица 6 – Экономические показатели установки ИКОВ-1

Показатель	Значение
Дополнительная выручка на одного поросенка, руб.	2,96
Экономический эффект на обогреве, руб./гол	0,89
Статический срок окупаемости, лет	0,8
Динамический срок окупаемости, лет	1,2

Полученные удельные показатели эффективности справедливы при соблюдении следующих основных зоотехнических параметров:

- высота подвеса облучателей находится в пределах 100...125 см;
- на одного поросенка приходится не менее 0,35 м² площади;
- соотношение активной зоны облучения и полной площади содержания находится в пределах 0,21...0,27;
- интервал между кормлениями составляет не более 3 часов (кормление сухое).

В случае несоблюдения приведенных параметров, показатели эффективности могут быть значительно ниже полученных.

Следующим этапом разработки является системы машинного зрения, интегрированной в процесс управления микроклиматом по поведению животных, согласно разработанным алгоритмам [3, 4].

Список использованных источников

1. Башилов А.М. Электронно-оптическое зрение в аграрном производстве (системотехника построения и применения информационных оптических технологий) / А.М. Башилов; Рос. акад. с.-х. наук, Гос. науч. учр. Всерос. науч.-исслед. ин-т электрификации сел. хоз-ва. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. – 310, [2] с.
2. Chinese farmers are using AI to help rear the world's biggest pig population [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.theverge.com/2018/2/16/17019446/farming-ai-pig-tracking-china-alibaba>. Дата доступа: 11.10.2018.
3. 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.
4. 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,

УДК 517.946.9

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАДАЧ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ В КРИОМЕДИЦИНЕ

Кудаева Ф.Х., Кайгермазов А.А., Паритов А.Ю., Хаишхожева Д.А.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Аннотация. Предлагаемая работа посвящена применению задач со свободными границами в проблемах криомедицины. Для определения максимального размера охлажденной, замороженной и криопораженной области биологической ткани решена стационарная задача, а также методом эквивалентной линеаризации получено приближенное решение нестационарной задачи. С использованием матрично-ориентированной среды MatLab проведены численные расчеты.

Ключевые слова: криомедицина, криогенное замораживание, биологическая ткань, свободная граница; одномерная задача; стационарная задача.

Введение. Криогенное замораживание используется в медицине для локального необратимого разрушения биологической ткани, для этого применяются криозонды с плоской, цилиндрической или с полусферической формами охлаждающей поверхности. Криохирurgia считается точным и управляемым процессом, хотя полное решение ее тепловых аспектов не получено до настоящего времени. Решающее значение для решения таких проблем приобретают математические методы расчета и прогноза, основанные на исследовании специальных постановок задач Стефана, относящихся к задачам математической физики. В таких задачах определению подлежат как температурное поле, так и его подвижные изотермические поверхности, закон движения которых заранее не известен. Предлагаемая работа посвящена исследованию одной такой краевой задачи со свободными границами для нелинейных эволюционных уравнений, возникающих при математическом моделировании проблем криохирургии.

Постановка задачи. Определение динамики температурного поля в охлаждаемых и замораживаемых биологических тканях описывается решением следующей задачи со свободными границами: [1-3]:

$$\begin{aligned}
 & u_{xx} - u_t = u^\beta, \quad 0 < x < s(t), \\
 0 < t < t_1 : & u(x, 0) = u_0(x), \quad 0 < x < s(0), \\
 & u_x - Hu = -H\varphi(t), \quad x = 0, \\
 & u(s(t), t) = 0, \quad u_x(s(t), t) = 0, \\
 & u(0, t_1) = 1;
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & u_{xx} - \frac{1}{a^2} u_t = 0, \quad 0 < x < x^*(t), \\
 t_1 < t < t_2 : & u_{xx} - u_t = u^\beta, \quad x^*(t) < x < s(t), \\
 & u_x - Hu = -H\varphi(t), \quad x = 0, \\
 & [u]_{x^*} = 0, \quad [u_x]_{x^*} = Px_t^*, \quad u(x^*(t), t) = 1, \\
 & u(s(t), t) = 0, \quad u_x(s(t), t) = 0, \\
 & u(0, t_2) = u_n;
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 & u_{xx} - u_t = u^\beta, \quad x^*(t) < x < s(t), \\
 & u_x - Hu = -H\varphi(t), \quad x = 0, \\
 t > t_2 : & [u]_{x^{**}} = 0, \quad [u_x]_{x^{**}} = P_1 x_t^{**}, \quad u(x^{**}(t), t) = 1, \\
 & u(s(t), t) = 0, \quad u_x(s(t), t) = 0, \\
 & [u]_{x^*} = 0, \quad [u_x]_{x^*} = Px_t^*, \quad u(x^*(t), t) = 1.
 \end{aligned} \tag{3}$$