

МОДЕЛИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОТКОРМА ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

И.Е. Плаксин, А.В. Трифанов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: trifanovav@mail.ru

Для цитирования: Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Модели для разработки интеллектуальной системы управления процессом откорма цыплят-бройлеров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 2(75). – С. 214–224. – DOI 10.31677/2072-6724-2025-75-2-214-224.

Ключевые слова: сельское хозяйство, животноводство, птицеводство, система управления.

Реферат. Для обеспечения максимальной эффективности птицеводческих предприятий, специализирующихся на производстве мяса, необходимыми условиями являются повышение качества производимой продукции, сокращение производственных издержек, а также минимизация стрессовых ситуаций, возникающих при контакте птицы с обслуживающим персоналом. Соблюдение данных условий обеспечивается за счет использования автоматизированных систем управления технологическими процессами, формирующими управляющие воздействия согласно нормативным данным технологических показателей на определенном временном интервале производственного цикла. Недостатком данных систем является отсутствие учета физиологических потребностей птиц, меняющихся в зависимости от их кондиций. Для решения данной проблемы необходима разработка систем управления, предусматривающих корректировку производственного процесса в реальном времени на основе полученной информации об условиях содержания птиц, их продуктивности, массе и т.д. В основе разработки данных систем находятся зависимости параметров потребления корма, воды, выхода помета, воздухообмена, температуры, освещенности от показателя, определяющего физиологическое состояние птиц. В данной работе в качестве такого показателя рассматривалась масса птиц, определяемая каждые сутки. Целью работы являлось моделирование зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода помета, необходимого воздухообмена, температуры и освещенности от увеличения живой массы бройлера на протяжении производственного цикла. Моделирование осуществлялось методом линейной интерполяции на основе нормативных, статистических и экспериментальных данных. Полученные модели позволят разработать систему управления технологическими процессами на птицеводческом предприятии, предусматривающую отслеживание изменений физиологического состояния птиц с дальнейшим формированием управляющих воздействий, обеспечивающих корректировку производственного процесса в реальном времени, за счет чего будет обеспечено повышение эффективности производства, а также сокращение производственных издержек.

MODELS FOR THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF FATTENING BROILER CHICKENS

I.E. Plaksin, A.V. Trifanov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch), Saint Petersburg, Russia

E-mail: trifanovav@mail.ru

Keywords: agriculture, animal husbandry, poultry farming, management system.

Abstract. To ensure maximum efficiency of poultry enterprises specializing in meat production, the necessary conditions are improving the quality of manufactured products, reducing production costs, and minimizing stressful situations that arise when birds come into contact with service personnel. Compliance with these conditions is ensured through the use of automated process control systems that generate control actions according to the standard data of process indicators at a certain time interval of the production cycle. The disadvantage of these systems is the lack of consideration of the physiological needs of birds, which change depending on their condition. To solve this problem, it is necessary to develop control systems that provide for the adjustment of the production process in real time based on the information received about the conditions of keeping birds, their productivity, weight, etc. The development of these systems is based on the dependence of the parameters of feed consumption,

water, manure output, air exchange, temperature, illumination on the indicator that determines the physiological state of birds. In this paper, the weight of birds determined every day was considered as such an indicator. The aim of the work was to model the dependencies of changes in feed consumption, water, manure output, required air exchange, temperature and illumination on the increase in live weight of broilers throughout the production cycle. Modeling was carried out using the linear interpolation method based on regulatory, statistical and experimental data. The obtained models will allow developing a process control system at a poultry farm, providing for tracking changes in the physiological state of birds with the subsequent formation of control actions that ensure the adjustment of the production process in real time, due to which an increase in production efficiency will be ensured, as well as a reduction in production costs.

Привлечение в отрасль птицеводства государственных и частных инвестиций позволило в период с 2010 по 2023 г. увеличить производство мяса птицы в 1,9 раза и достичь показателя в 5273 тыс. т в убойном весе.

Наиболее интенсивный рост производственных объемов, составивший 2034 тыс. т, наблюдался в период с 2010 по 2017 г., в период с 2018 по 2022 г. данный показатель резко сократился и составил 377 тыс. т, а в 2023 г. было зафиксировано сокращение производства на 5,3 тыс. т ввиду 50%-го роста цен на мясо цыплят-бройлеров, обусловленного высокой импортозависимостью от племенного материала, медикаментов, кормовых добавок, оборудования и комплектующих, распространения эпидемии гриппа птиц, сокращения производства в приграничных к зоне СВО областях, а также закрытия ряда неконкурентоспособных предприятий¹ [1–3].

Наметившаяся тенденция обосновывает необходимость ужесточения требований к качеству производимой продукции, контролю производственных издержек, минимизации человеческого фактора.

Реализация обозначенных требований на сегодняшний день обеспечивается за счет внедрения в производство систем интеллектуального управления технологическими процессами, применение которых позволяет повысить эффективность производства за счет сокращения трудозатрат, а также минимизировать процент стрессовых ситуаций при контакте птиц с обслуживающим персоналом.

Проведенный анализ существующих систем управления показывает, что контроль за протеканием технологических процессов и формирование управляющих воздействий осуществляется исходя из средних значений показателей на определенном временном интервале

производственного цикла без учета физиологических потребностей птиц (потребность в кормах, воде, количество выделяемого помета, необходимая температура и т.д.) меняющихся в зависимости от их кондиций [4–6].

Для решения данной проблемы ведутся разработки систем управления, предусматривающих получение информации о ряде факторов, таких как условия содержания птиц, продуктивность, двигательная активность, масса и т.д. путем дистанционного зондирования с последующей корректировкой производственного процесса на основе полученных данных в реальном времени [7].

Для реализации данного подхода необходимо получение зависимостей значений определенных параметров (потребление корма, воды, выхода помета, воздухообмена, температуры, освещенности) от показателя, определяющего физиологическое состояние птиц в конкретный момент производственного цикла, в качестве которого в данной работе рассматривалась масса птиц, определяемая каждые сутки.

Исходя из вышеизложенного целью работы являлось моделирование зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода помета, необходимого воздухообмена, температуры и освещенности от увеличения живой массы бройлера на протяжении производственного цикла.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения перспективных направлений в области разработки систем управления технологическими процессами на птицеводческих предприятиях был применен метод поисковых исследований, подразумевающий

¹Федеральная служба государственной статистики. Динамика промышленного производства в ноябре 2023 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/226808>. (дата обращения: 15.01.2025).

анализ применяемых на сегодняшний день технико-технологических решений.

Для определения зависимостей изменения потребления корма, воды, выхода помета, необходимого воздухообмена, температуры, освещенности от увеличения живой массы бройлера на протяжении цикла откорма было проведено численное моделирование методом линейной интерполяции на основе нормативных, статистических и экспериментальных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продолжительность производственного цикла откорма бройлеров при реализации интенсивной технологии выращивания составляет 42 сут с постановкой на откорм суточных цыплят.

Моделирование изменения живой массы бройлера осуществлялось исходя из данных среднесуточного потребления корма (табл. 1) и коэффициента его конверсии, принятого 1,6 [8–11].

Таблица 1

Технологические показатели на этапах цикла откорма
Technological indicators at the stages of the fattening cycle

Показатель	Сутки откорма			
	1–5	6–18	19–37	38–42
Среднесуточные привесы, кг/сут	0,0099	0,034	0,086	0,117
Среднесуточное потребление корма, кг/сут	0,0158	0,0538	0,1369	0,1872
Среднесуточный прирост потребления корма, кг/сут	0,0076	0,0064	0,0026	0,0028
Среднесуточное потребление воды, л/сут	0,025	0,086	0,22	0,32
Среднесуточный прирост потребления воды, л/сут	0,012	0,01	0,004	0,0045
Среднесуточный выход помета, кг/сут	0,022	0,075	0,189	0,257
Среднесуточный прирост выхода помета, кг/сут	0,011	0,009	0,004	0,004

Среднесуточный привес бройлера определялся отношением среднесуточного потребления корма к его конверсии:

$$\Delta M = \frac{m_{\text{к.норм}}}{K}, \quad (1)$$

где ΔM – среднесуточный привес бройлера, кг/сут; $m_{\text{к.норм}}$ – среднесуточное потребление корма бройлером, кг/сут; K – коэффициент конверсии корма.

Полученные значения среднесуточных привесов приведены в табл. 1. Целевая функция изменения живой массы бройлера имеет вид кусочно-линейной функции натурального аргумента, где в качестве коэффициента пропорциональности выступает показатель среднесуточного привеса, являющегося постоянным для каждого временного промежутка цикла откорма:

$$M(t) = \begin{cases} M(1) + \Delta M_{1-5} \cdot (t - 1), & \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ M(5) + \Delta M_{6-18} \cdot (t - 5), & \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ M(18) + \Delta M_{19-37} \cdot (t - 18), & \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ M(37) + \Delta M_{38-42} \cdot (t - 37), & \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases}, \quad (2)$$

где M – живая масса бройлера, кг; t – день откорма, сут.

На рис. 1 приведен график изменения живой массы бройлера при учете среднего зна-

чения массы суточного цыпленка – 0,042 кг [11, 12].

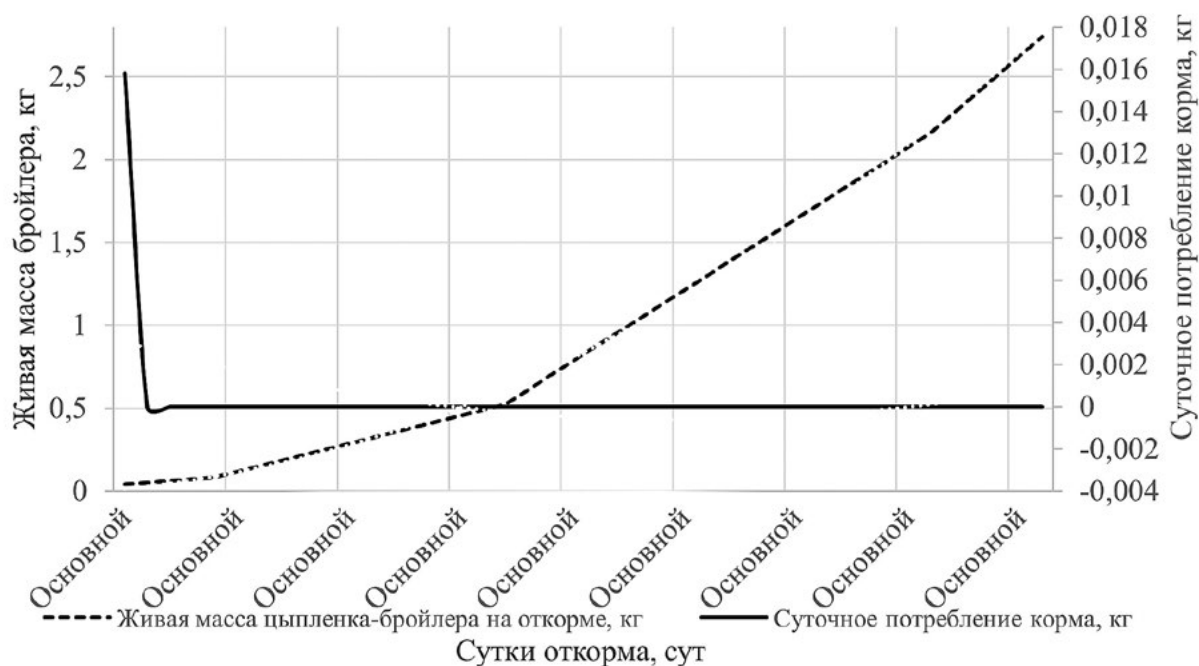


Рис. 1. Изменение живой массы бройлера и суточного потребления корма бройлером на протяжении откорма
Changes in broiler live weight and daily feed consumption during fattening

Проанализировав полученный график можно сделать вывод о целесообразности выполнения линейной интерполяции ввиду ее незначительной погрешности, на что указывает отсутствие скачков в узлах интерполяции.

Для задания целевой функции потребления корма бройлером считаем, что потребление

$$m(t) = \begin{cases} m(1) + \Delta m_{\text{пр}(1-5)} \cdot (t - 1), & \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ m(5) + \Delta m_{\text{пр}(6-18)} \cdot (t - 5), & \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ m(18) + \Delta m_{\text{пр}(19-37)} \cdot (t - 18), & \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ m(37) + \Delta m_{\text{пр}(38-42)} \cdot (t - 37), & \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases}, \quad (3)$$

где m — масса корма, кг; t — день откорма, сут.

На рис. 1 приведен график изменения суточного потребления корма бройлером на протяжении откорма, построенный по формуле (3).

Выражение для определения среднесуточного прироста потребления корма на каждом временном промежутке цикла откорма имеет вид:

$$\Delta m_{\text{пр}} = \frac{\Delta m_{\text{к.норм}}}{\Delta t}, \quad (4)$$

где $\Delta m_{\text{к.норм}}$ — разница нормативных показателей потребления корма последующих вре-

корма прямо пропорционально количеству дней определенного промежутка цикла откорма с постоянным коэффициентом пропорциональности, которым является среднесуточный прирост потребления корма для каждого промежутка:

менных промежутках, кг/сут; Δt — количество дней в промежутке откормочного цикла, сут.

Полученные значения среднесуточного прироста потребления корма приведены в табл. 1.

Функция зависимости изменения потребления корма от роста живой массы бройлера является кусочно-линейной функцией действительного аргумента, где постоянным для каждого временного промежутка коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного потребления корма бройлером к среднесуточным привесам на каждом временном промежутке цикла откорма:

$$m(M) = \begin{cases} m(M(1)) + \Delta m_{\text{пр}(1-5)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{1-5}} (M - M(1)), \text{если } M(1) \leq M \leq M(5) \\ m(M(5)) + \Delta m_{\text{пр}(6-18)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{6-18}} (M - M(5)), \text{если } M(6) \leq M \leq M(18) \\ m(M(18)) + \Delta m_{\text{пр}(19-37)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{19-37}} (M - M(18)), \text{если } M(19) \leq M \leq M(37) \\ m(M(37)) + \Delta m_{\text{пр}(38-42)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{38-42}} (M - M(37)), \text{если } M(38) \leq M \leq M(42) \end{cases}$$

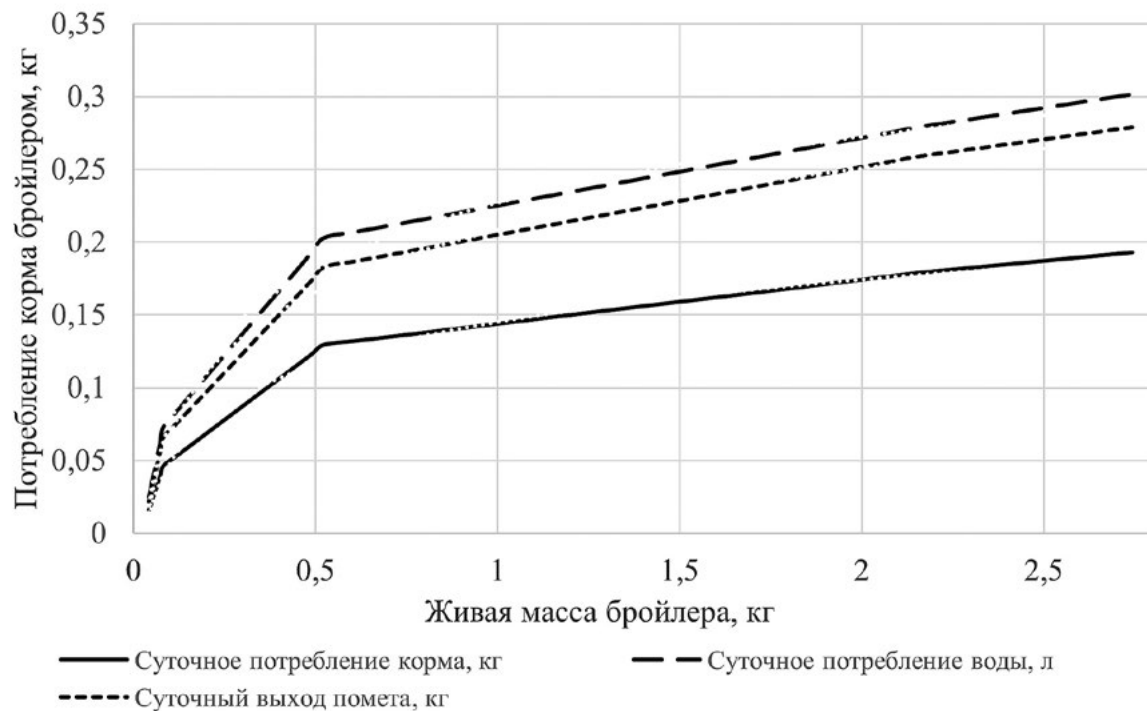


Рис. 2. Изменение суточного потребления корма в зависимости от роста живой массы бройлера
Change in daily feed consumption depending on the growth of live weight of broilers

На рис. 2 приведен график изменения потребления корма от увеличения живой массы бройлера, построенный по формуле (5).

Согласно приведенному графику целевая функция (5) монотонно возрастает и большему значению массы бройлера соответствует большее значение потребляемого корма. Погрешность интерполяции незначительна, так как в узлах интерполирования отсутствуют скачки.

Согласно статистическим данным на 1 кг сухого корма цыплята-бройлеры потребляют 1,6 л воды¹. Пользуясь данными среднесуточно-

го потребления корма, определим значения по среднесуточному потреблению воды и запишем их в табл. 1 [13].

Целевая функция зависимости потребления воды бройлером задается исходя из пропорциональности потребления воды на каждом временном промежутке цикла откорма количеству дней в данном промежутке, с постоянным коэффициентом пропорциональности – среднесуточным изменением потребления воды – постоянным для каждого временного промежутка.

$$v(t) = \begin{cases} v(1) + \Delta v_{\text{пр}(1-5)} \cdot (t - 1), \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ v(5) + \Delta v_{\text{пр}(6-18)} \cdot (t - 5), \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ v(18) + \Delta v_{\text{пр}(19-37)} \cdot (t - 18), \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ v(37) + \Delta v_{\text{пр}(38-42)} \cdot (t - 37), \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases} \quad (6)$$

¹Canadian Poultry. Broilers in the New Millenium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.canadianpoultrymag.com/broilers-in-the-new-millennium-12316>. (дата обращения: 15.01.2025).

где v – объем воды, л; t – день откорма, сут.

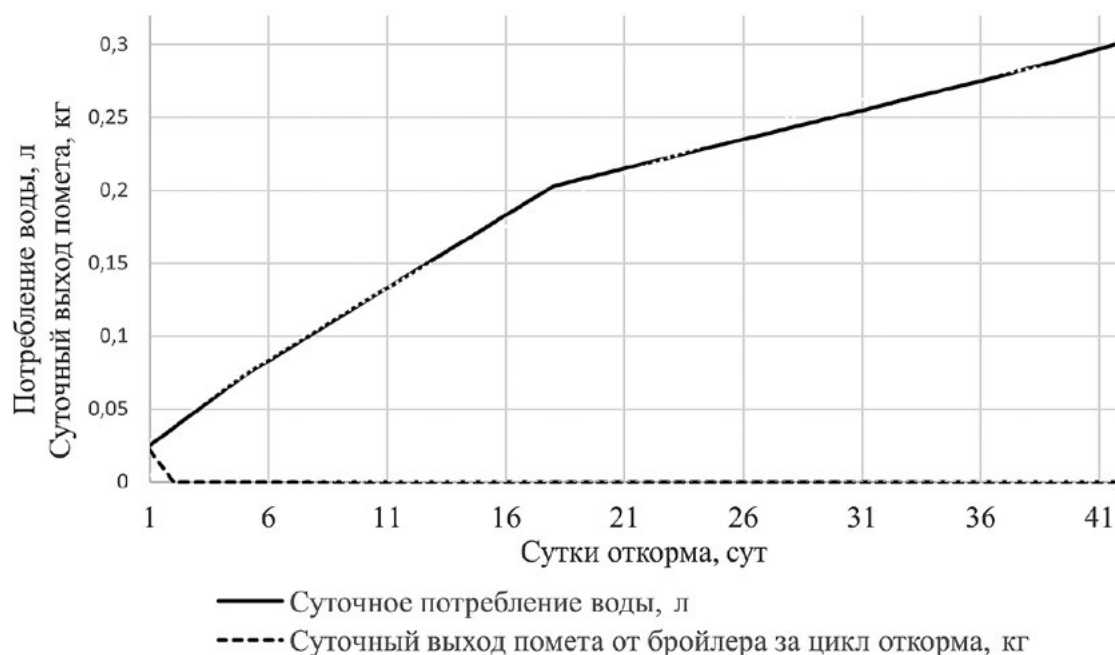


Рис. 3. Изменение суточного потребления воды бройлером за цикл откорма
Change in daily water consumption of broilers during the fattening cycle

На рис. 3 представлен график изменения суточного потребления воды бройлером за цикл откорма.

Отсутствие скачков в узлах интерполирования позволяет сделать вывод о адекватности и целесообразности выполнения линейной интерполяции.

Аналогично определению среднесуточного прироста потребления корма выполняется определение среднесуточного прироста потребления воды по выражению (4) при учете значений потребления воды в начале откорма

и конце откорма, составляющих 0,025 и 0,32 л соответственно, полученные данные приведены в табл. 1.

Зависимость изменения потребления воды от роста живой массы бройлера определяется функцией действительного аргумента, в которой постоянным для каждого временного промежутка коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного потребления воды бройлером к среднесуточным привесам:

$$v(M) = \begin{cases} v(M(1)) + \Delta v_{\text{пр}(1-5)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{1-5}} (M - M(1)), \text{ если } M(1) \leq M \leq M(5) \\ v(M(5)) + \Delta v_{\text{пр}(6-18)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{6-18}} (M - M(5)), \text{ если } M(6) \leq M \leq M(18) \\ v(M(18)) + \Delta v_{\text{пр}(19-37)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{19-37}} (M - M(18)), \text{ если } M(19) \leq M \leq M(37) \\ v(M(37)) + \Delta v_{\text{пр}(38-42)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{38-42}} (M - M(37)), \text{ если } M(38) \leq M \leq M(42) \end{cases} \quad (7)$$

На рис. 2 представлен график изменения потребления воды от увеличения живой массы бройлера.

Согласно данным портала промышленного птицеводства¹ на один килограмм производимого мяса цыплят-бройлеров приходится

¹Портал промышленного птицеводства. Как перерабатывают птичий помет: удобрение и биогаз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pticainfo.ru/article/kak-pererabatyvayut-ptichiy-pomet-udobrenie-i-biogaz> (дата обращения: 15.01.2025).

3 кг помета. Учитывая коэффициент убойного выхода бройлеров – 0,75 определим количество помета, приходящееся на прирост одного килограмма живого веса – 2,2 кг.

Определим выход помета для каждого временного промежутка цикла откорма исходя из данных среднесуточных привесов и количества помета, приходящегося на прирост килограмма живой массы бройлеров.

$$g_{\text{к.норм}} = G \cdot \Delta M, \quad (8)$$

где $g_{\text{к.норм}}$ – среднее значение выхода помета на каждом временном промежутке цикла от-

корма, кг; G – выход помета, приходящийся на прирост килограмма живого веса, кг; ΔM – среднесуточный привес бройлера, кг/сут.

Полученные значения выхода помета для каждого временного промежутка цикла откорма приведены в табл. 1.

Запишем целевую функцию зависимости выхода помета от дня откорма, считая, что данный показатель прямо пропорционален количеству дней в определенном промежутке откорма с постоянным коэффициентом пропорциональности $\Delta g_{\text{пр}}$ среднесуточным изменением выхода помета для каждого промежутка.

$$g(t) = \begin{cases} g(1) + \Delta g_{\text{пр}(1-5)} \cdot (t - 1), \text{если } 1 \leq t \leq 5 \\ g(5) + \Delta g_{\text{пр}(6-18)} \cdot (t - 5), \text{если } 6 \leq t \leq 18 \\ g(18) + \Delta g_{\text{пр}(19-37)} \cdot (t - 18), \text{если } 19 \leq t \leq 37 \\ g(37) + \Delta g_{\text{пр}(38-42)} \cdot (t - 37), \text{если } 38 \leq t \leq 42 \end{cases}, \quad (9)$$

где g – масса помета, кг; t – день откорма, сут.

Определение суточного прироста выхода помета выполняется по выражению (4) при учете значений данного показателя в начале и конце откорма, равных соответственно 0,022 и 0,276 кг. Полученные значения приведены в табл. 1. На рис. 3 представлен график изменения суточного выхода помета от бройлера за цикл откорма.

$$g(M) = \begin{cases} g(M(1)) + \Delta g_{\text{пр}(1-5)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{1-5}} (M - M(1)), \text{если } M(1) \leq M \leq M(5) \\ g(M(5)) + \Delta g_{\text{пр}(6-18)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{6-18}} (M - M(5)), \text{если } M(6) \leq M \leq M(18) \\ g(M(18)) + \Delta g_{\text{пр}(19-37)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{19-37}} (M - M(18)), \text{если } M(19) \leq M \leq M(37) \\ g(M(37)) + \Delta g_{\text{пр}(38-42)} \cdot \frac{1}{\Delta M_{38-42}} (M - M(37)), \text{если } M(38) \leq M \leq M(42) \end{cases}. \quad (10)$$

На рис. 2 представлен график изменения выхода помета от роста массы бройлера.

Согласно изменению живой массы бройлера (см. рис. 1), а также значениям рекомендованного воздухообмена для каждого периода года, запишем выражение для определения необходимого воздухообмена в каждый день цикла откорма:

$$V_o = M(t) \cdot v_n, \quad (11)$$

Для определения зависимости изменения выхода помета от роста живой массы бройлера зададим целевую функцию действительного аргумента, в которой коэффициентом пропорциональности является отношение изменения суточного выхода помета к среднесуточным привесам на каждом временном промежутке цикла откорма.

где V – необходимый воздухообмен, м³/ч; v_n – нормативный показатель воздухообмена в зависимости от периода года, м³/ч/кг.

Построим графики изменения воздухообмена в зависимости от изменения массы бройлера с учетом периода года и нормативных значений воздухообмена (РД-АПК 1.10.05.04-13), составляющих в холодный период года 0,7 м³/ч, в теплый период года – 7 м³/ч на 1 кг живой массы (рис. 4).

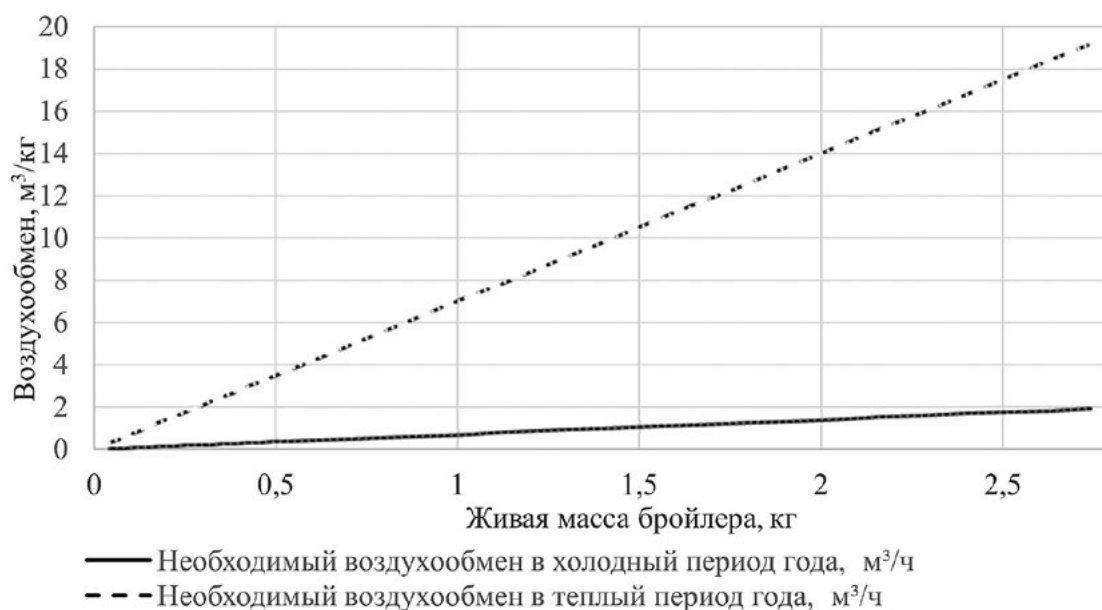


Рис. 4. Изменение воздухообмена в зависимости от роста живой массы бройлера с учетом периода года
Change in air exchange depending on the growth of live weight of broilers, taking into account the period of the year

На основе анализа литературных источников определено, что температура за цикл откорма бройлеров изменяется в диапазоне от 32 до 19,5 °С [14, 15].

Запишем значения температуры по дням цикла откорма и соответствующие им значения

живой массы бройлера в табл. 2. Для каждого из временных промежутков запишем систему линейных уравнений вида $T(M) = kM + b$. Найденные значения постоянных k и b запишем в табл. 2.

Таблица 2

Значения живой массы бройлера, температуры за цикл откорма
Live weight values of broilers, temperatures during the fattening cycle

Масса $M(t)$, кг	$M(1)-M(7)$	$M(7)-M(14)$	$M(14)-M(21)$	$M(21)-M(28)$	$M(28)-M(35)$	$M(35)-M(42)$
Температура $T(t)$, °С	32-31	31-29,5	29,5-27,5	27,5-25	25-22,5	22,5-19,5
k	-9,29	-6,3	-5,08	-4,15	-4,15	-3,96
b	32,39	31,94	31,47	30,74	30,74	30,36

Запишем целевую кусочно-линейную функцию действительного аргумента изменения

температуры в зависимости от роста живой массы бройлера.

$$T(M) = \begin{cases} -9,29M + 32,39 & \text{если } 0,042 \leq M \leq 0,1496 \\ -6,3M + 31,94 & \text{если } 0,1496 < M \leq 0,3876 \\ -5,08M + 31,47 & \text{если } 0,3876 < M \leq 0,7816 \\ -4,15M + 30,74 & \text{если } 0,7816 < M \leq 1,3836 \\ -4,15M + 30,74 & \text{если } 1,3836 < M \leq 1,9856 \\ -3,96M + 30,36 & \text{если } 1,9856 < M \leq 2,7426 \end{cases} \quad (12)$$

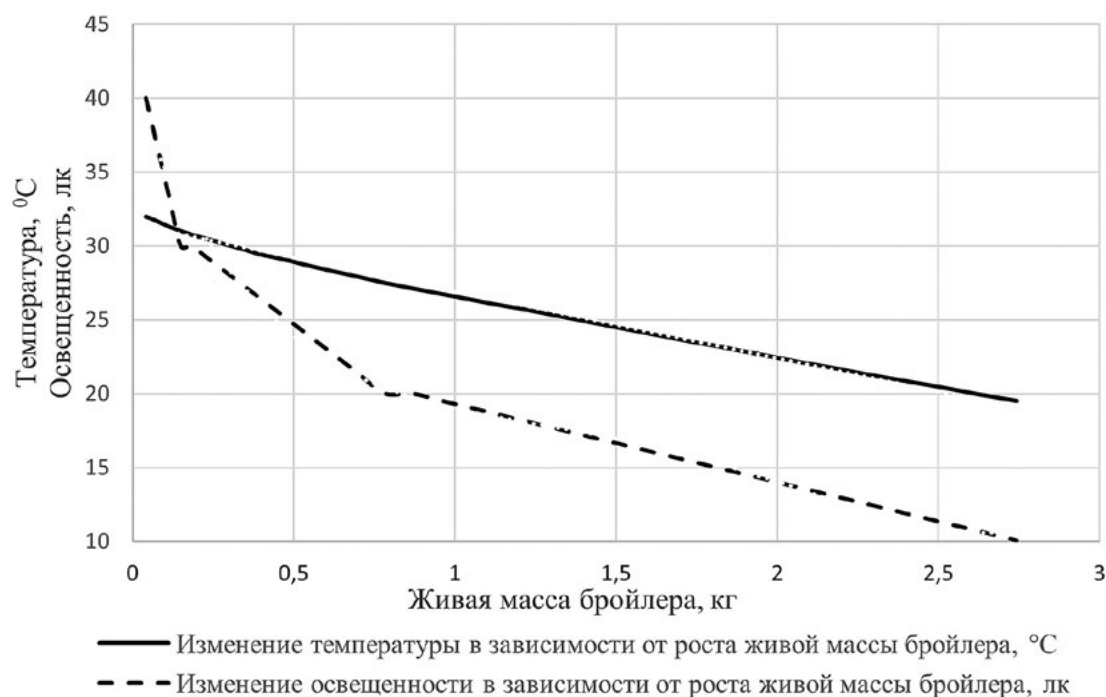


Рис. 5. Изменение температуры в зависимости от роста живой массы бройлера

Temperature change depending on the growth of live weight of broilers

На рис. 5 представлен график зависимости температуры от роста массы бройлера.

Согласно приведенному графику целевая функция (12) монотонно убывает и большему значению массы бройлера соответствует меньшее значение температуры. Погрешность интерполяции незначительна, так как в узлах интерполирования отсутствуют скачки.

На основе анализа литературных источников определено, что освещенность в первую неделю откорма цыплят-бройлеров должна снижаться от

40 до 30 лк, с 8-го по 21-й день от 30 до 20 лк и с 22-го по 42-й день от 20 до 10 лк [16, 17].

В табл. 3 запишем указанные значения освещенности и соответствующие им значения живой массы бройлера в определенные дни откорма.

Аналогично изменению температуры определим зависимости изменения освещенности от роста живой массы бройлера путем линейной интерполяции с определением значений постоянных систем уравнений $L(M) = kM + b$ для каждого массового промежутка. Полученные значения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Соответствующие значения живой массы бройлера и освещенности за цикл откорма
Corresponding values of broiler live weight and illumination during the fattening cycle

Масса бройлера $M(t)$, кг	$M(1)–M(7)$	$M(8)–M(21)$	$M(22)–M(42)$
Освещенность L , лк	40–30	30–20	20–10
k	-92,9	-16,7	-5,3
b	43,9	33,07	24,6

Запишем целевую функцию действительного аргумента изменения освещенности в зависимости от роста живой массы бройлера.

$$L(M) = \begin{cases} -92,9M + 43,9, & \text{если } 0,042 \leq M \leq 0,1496 \\ -16,7M + 33,07, & \text{если } 0,1836 \leq M \leq 0,7816 \\ -5,3M + 24,6, & \text{если } 0,8678 \leq M \leq 2,7426 \end{cases} \quad (13)$$

На фоне сокращения производства мяса птицы основной целью птицеводческих предприятий является повышение эффективности производства с единовременным сокращением производственных издержек.

Достижение данной цели возможно за счет внедрения систем управления отслеживающих изменение физиологического состояния птиц в реальном времени с дальнейшим формированием управляющих воздействий для корректировки производственного процесса на основе анализа полученной информации.

Необходимым условием для разработки данных систем является определение зависимостей технико-технологических параметров производственного процесса от параметров, характеризующих физиологическое состояние птиц.

В работе приведены разработанные модели изменения потребления корма, воды, выхода помета, воздухообмена, температуры и освещенности в зависимости от изменения живой массы бройлера за цикл откорма, необходимые

для написания программы системы управления производственным процессом на птицеводческом предприятии, специализирующемся на производстве мяса цыплят-бройлеров.

ВЫВОДЫ

1. Приведенные модели позволяют определить необходимое количество корма, воды, массу помета, воздухообмен, температуру и освещенность на протяжении цикла откорма в зависимости от изменения живой массы бройлеров.

2. Модели дают возможность разработать интеллектуальную систему управления технологическими процессами на птицеводческом предприятии, предусматривающую постоянное отслеживание изменений физиологического состояния птиц с дальнейшим формированием управляющих воздействий, обеспечивающих корректировку производственного процесса в реальном времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батуханов А. Птицеводство в РФ – состояние и перспективы // *Аграрная наука*. – 2021. – № 1. – С. 6–10.
2. Губанов Р.С. О государственной поддержке развития производства продукции птицеводства в России // *Птицеводство*. – 2024. – № 9. – С. 82–87. – DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-9-82-87.
3. Кузьмин В.Н., Маринченко Т.Е. Снижение импортозависимости мясного птицеводства России // *Техника и оборудование для села*. – 2023. – № 2(308). – С. 45–48. – DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-45-48.
4. Сравнительная оценка эффективности выращивания цыплят-бройлеров кроссов Росс-308 и Иза-Ф-15 в условиях промышленной технологии / В.А. Реймер, З.Н. Алексеева, И.Ю. Клемешова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 2(59). – С. 141–148. – DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-141-148.
5. Uncertainty analysis of a web-based data acquisition system for poultry management with sensor networks / L. Ya, X. Xu, W. Guo [et al.] // *Engenharia Agricola*. – 2018. – Vol. 38, N 6. – P. 857–863. – DOI: 10.1590/1809-4430-Eng. Agric.v38n6p857-863/2018.
6. Заргарян Е.В. Система управления данными в птичнике // *Молодёжный вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. – 2022. – Т. 2, № 1(5). – С. 78–84. – DOI: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_78.
7. Каунов Р.Д., Иванов С.М. Инновационные технологии, применяемые в птицеводстве // *Студенческая наука: сб. тез. 60-й Всерос. студ. науч.-практ. конф., Великие Луки, 18–19 апр. 2024 г.* – Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 62–64.
8. Хамитова В.З., Османян А.К., Малородов В.В. Эффективность выращивания бройлеров в зависимости от схем фазового кормления и использования суперпрестартерного рациона // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2021. – № 4. – С. 79–93. – DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-79-93.
9. Плаксин И.Е., Трифанов А.В. Результаты исследований технологических показателей в экспериментальном модуле выращивания цыплят-бройлеров // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2024. – № 3(72). – С. 240–258. – DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-240-258.
10. Борисов С.С., Корнеева К.В. Преимущества поэтапного выращивания бройлеров // *Птица и птицепродукты*. – 2021. – № 4. – С. 32–33.
11. Байковская Е.Ю., Абашкина Е.М., Манукян В.А. Синтетический глицин в комбикормах для цыплят-бройлеров // *Птицеводство*. – 2021. – № 3. – С. 13–16. – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-3-13-16.
12. Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Карпунин В.А. Фармакологические аспекты применения подкислителей воды при выращивании цыплят-бройлеров // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2020. – № 4(80). – С. 24–30.

13. Feddes J.J., Emmanuel E.J., Zuidhof M.J. Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities // *Poultry Science*. – 2002. – № 81(6). – P. 774–779. – DOI: 10.1093/ps/81.6.774.
14. Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р., Пономарева Т.А. Тепловой и транспортный стресс в промышленном птицеводстве: проблемы и решение // *Российская сельскохозяйственная наука*. – 2022. – № 4. – С. 60–65. – DOI: 10.31857/S250026272204011.
15. Морозов В.Ю., Калиткина К.А., Колесников Р.О. Влияние снижения относительной влажности воздуха в период выращивания бройлеров на показатели иммунитета и продуктивности // *Аграрный вестник Урала*. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 43–51. – DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-43-51.
16. Щербатов В.И., Андреев Д.С. Новые световые режимы для выращивания цыплят-бройлеров и ремонтного молодняка кур // *Птицеводство*. – 2023. – №1. – С. 51–55. – DOI: 10.33845/0033-3239-2023-72-1-51-55.
17. Кавтарашвили А.Ш., Гладин Д.В. Адаптивное управление освещенностью в птичнике при содержании кур в клетках // *Птица и птицепродукты*. – 2024. – № 6. – С. 38–41. – DOI: 10.30975/2073-4999-2024-26-6-38-41.

REFERENCES

1. Batukhanov A., *Agrarnaya nauka*, 2021, No. 1, pp. 6–10. (In Russ)
2. Gubanov R.S., *Ptitsevodstvo*, 2024, No. 9, pp. 82–87, DOI: 10.33845/0033-3239-2024-73-9-82-87. (In Russ)
3. Kuz'min V.N., Marinchenko T.E., *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2023, No. 2(308), pp. 45–48, DOI: 10.33267/2072-9642-2023-2-45-48. (In Russ)
4. Reimer V.A., Alekseeva Z.N., Klemeshova I.Yu. [et al.], *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2021, No. 2(59), pp. 141–148, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-59-2-141-148. (In Russ)
5. Yu L., Xu X., Guo W. [et al.], Uncertainty analysis of a web-based data acquisition system for poultry management with sensor networks, *Engenharia Agricola*, 2018, Vol. 38, No. 6, pp. 857–863, DOI: 10.1590/1809-4430-Eng-Agric.v38n6p857-863/2018.
6. Zargaryan E.V., *Molodezhnyi vestnik Novorossiiskogo filiala Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*, 2022, Vol. 2, No. 1(5), pp. 78–84, DOI: 10.51639/2713-0576_2022_2_1_78. (In Russ)
7. Kaunov R.D., Ivanov S.M., *Studencheskaya nauka* (Student Science), Collection of Abstracts of the 60th All-Russian Student Scientific and Practical Conference, Velikie Luki, 2024, pp. 62–64. (In Russ)
8. Khamitova V.Z., Osmanyan A.K., Malorodov V.V., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2021, No. 4, pp. 79–93, DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-79-93. (In Russ)
9. Plaksin I.E., Trifanov A.V., *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2024, No. 3(72), pp. 240–258, DOI: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-240-258. (In Russ)
10. Borisov S.S., Korneeva K.V., *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2021, No. 4, pp. 32–33. (In Russ)
11. Baikovskaya E.Yu., Abashkina E.M., Manukyan V.A., *Ptitsevodstvo*, 2021, No. 3, pp. 13–16, DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-3-13-16. (In Russ)
12. Gamko L.N., Menyakina A.G., Karpukhin V.A., *Vestnik Bryanskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2020, No. 4 (80), pp. 24–30. (In Russ)
13. Feddes J.J., Emmanuel E.J., Zuidhof M.J., Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities, *Poultry Science*, 2002, No. 81(6), pp. 774–779, DOI: 10.1093/ps/81.6.774.
14. Miftakhutdinov A.V., Saiful'mulyukov E.R., Ponomareva T.A., *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 2022, No. 4, pp. 60–65, DOI: 10.31857/S250026272204011. (In Russ)
15. Morozov V.Yu., Kalitkina K.A., Kolesnikov R.O., *Agrarnyi vestnik Urala*, 2023, Vol. 23, No. 3, pp. 43–51, DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-43-51. (In Russ)
16. Shcherbatov V.I., Andreev D.S., *Ptitsevodstvo*, 2023, No. 1, pp. 51–55, DOI: 10.33845/0033-3239-2023-72-1-51-55. (In Russ)
17. Kavtarashvili A.Sh., Gladin D.V., *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2024, No. 6, pp. 38–41, DOI: 10.30975/2073-4999-2024-26-6-38-41. (In Russ)

Информация об авторах:

И.Е. Плаксин, кандидат технических наук

А.В. Трифанов, кандидат технических наук, доцент

Contribution of the authors:

I.E. Plaksin, Cand. Sc. (Engineering)

A.V. Trifanov, Cand. Sc. (Engineering)

Вклад авторов:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.