

УДК 519.8:51-76

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.40.1.018](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.40.1.018)

Математическое моделирование влияния показателей микроклимата на интенсификацию агропромышленного производства на примере выращивания бройлеров

Т.И. Белых¹, А.В. Бурдуковская², О.Ю. Ивонина³, А.В. Родионов⁴✉

¹Байкальский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация

³Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Иркутск, Российская Федерация

⁴Байкальский государственный университет, Иркутск, Российская Федерация
avr-v@yandex.ru✉

Резюме. В статье рассматриваются регрессионные математические модели, описывающие влияние механической и автоматической систем регулирования микроклимата на рост и развитие цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres» в условиях агропромышленного комплекса «Саянский бройлер» при напольном содержании. В работе изучается влияние таких параметров, как микроклимат, температура, влажность и освещенность. Для проверки статистической гипотезы однородности двух рассматриваемых выборок используются критерии Крамера-Уэлча, Уилкоксона. Приводится тест Чоу о возможности построения двух различных однотипных математических моделей, описывающих закономерности развития моделируемых показателей. Рассчитываются статистические оценки значимости построенных моделей и включенных в модели факторов. Приводится интерпретация результатов регрессионного анализа применительно к исследуемой предметной области. Кроме этого, выполнена графическая визуализация анализа исходных и выходных данных построенных моделей. Проводится ранжирование факторов по степени их воздействия на результирующий показатель с использованием коэффициентов эластичности и долей их влияния. Вычисляются основные производственные показатели по итогам выращивания поголовья, в частности, среднесуточный прирост, абсолютный прирост, относительная скорость роста, сохранность. В статье рассчитывается экономический эффект за один полный цикл выращивания цыплят-бройлеров.

Ключевые слова: математическое моделирование, регрессионная модель, коэффициент детерминации, статистическая значимость модели, цыплята-бройлеры кросса «Arbor Acres», микроклимат.

Благодарности: авторы статьи выражают признательность руководству агрохолдинга «Саянский бройлер» и лично генеральному директору Романовскому Александру Ростиславовичу за предоставленную возможность при проведении данного исследования.

Для цитирования: Белых Т.И., Бурдуковская А.В., Ивонина О.Ю., Родионов А.В. Математическое моделирование влияния показателей микроклимата на интенсификацию агропромышленного производства на примере выращивания бройлеров. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1305> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.018

Mathematical modeling of microclimate indicator influence on the intensification of agricultural production on the example of broiler farming

T.I. Belykh¹, A.V. Burdukovskaya², O.Y. Ivonina³, A.V. Rodionov⁴✉

¹Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

³Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russian Federation

⁴Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation

avr-v@yandex.ru

Abstract. The article deals with the regression mathematical models that describe the influence of mechanical and automatic microclimate control systems on the growth and development of Arbor Acres cross broiler chickens in Sayansky Broiler agro-industrial complex with outdoor maintenance. The paper regards the influence of such parameters as microclimate, temperature, humidity and illumination. To test the statistical hypothesis of homogeneity of the two considered samples, the Cramer-Welch and Wilcoxon tests are employed. Chou's test is presented concerning the possibility of constructing two different mathematical models of the same type that illustrate the patterns of the modeled indicators development. Statistical estimates of the significance of the constructed models and the factors included in the models are calculated. An interpretation of the results of regression analysis in relation to the subject area under study is given. In addition, a graphical visualization of the analysis of the initial and output data of the constructed models was performed. The ranking of factors is carried out according to the degree of their impact on the resulting indicator using elasticity coefficients and the shares of their influence. The main production indicators are calculated based on the results of livestock rearing: average daily gain, absolute gain, relative growth rate, safety. The article calculates the economic effect for one full cycle of farming broiler chickens.

Keywords: mathematical modeling, regression model, determination coefficient, statistical significance of the model, Arbor Acres cross broilers, microclimate.

Acknowledgements: the authors of the article are grateful to the management of Sayansky Broiler agro-industrial complex and the general director Aleksandr Rostislavovich Romanovsky for providing an opportunity in conducting this research.

For citation: Belykh T.I., Burdukovskaya A.V., Ivonina O.Y., Rodionov A.V. Mathematical modeling of microclimate indicator influence on the intensification of agricultural production on the example of broiler farming. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1305> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.018 (In Russ.).

Введение

В современных условиях птицеводство, специализирующееся на производстве пищевых яиц и мяса птицы, является наиболее экономически выгодной отраслью сельского хозяйства (животноводства) и имеет очень высокие показатели интенсификации [1, 2]. Данная отрасль характеризуется высокой продуктивностью, интенсивным ростом и темпом воспроизводства, требует небольших затрат труда и материальных вложений на единицу продукции, что выводит отрасль на ведущие позиции в деле наиболее полного удовлетворения потребностей населения в высококачественных и экологически безопасных продуктах питания [3-5].

При этом птицеводческим предприятиям необходимо решать ряд проблем для интенсификации производства, одной из которых является оценка влияния факторов окружающей среды на выращивание птицы. Известно, что микроклимат служит определяющим фактором содержания птицы в промышленных условиях, т. к. оказывает значительное влияние на метаболизм птицы, ее тепловой обмен и газообмен, физические свойства, морфологический и биохимический состав крови и т. д. [6].

Цель работы – оценить влияние механической и автоматической систем регулирования микроклимата на рост и развитие цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres» в условиях агропромышленного комплекса «Саянский бройлер» при напольном содержании, используя методы математической статистики, прикладной математики и программного продукта STATISTICA 10.

Материал и методы исследования

Кросс «Arbor Acres» выведен французско-британско-американской компанией «Хаббард Иза» в результате скрещивания породных линий бройлеров: корниш и белый плимутрок. Для изучения влияния различных параметров окружающей среды на рост и развитие цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres» были выбраны два корпуса (цеха) напольного содержания с различными системами регулирования микроклимата [7] в агрохолдинге «Саянский бройлер»:

1. Контрольный цех – бетонное строение длиной 96 м, шириной 18 м и площадью 1728 м², в котором регулирование микроклимата осуществляется механическим путем ручного включения оборудования и с учетом визуальных наблюдений за птицей.

2. Опытный цех – бетонное строение, длиной 102 м, шириной 18 м и площадью 1836 м², в котором работа специального оборудования осуществляется под контролем автоматической системы регулирования микроклимата с помощью компьютера фирмы «Fancor».

После санитарной обработки, засыпания подстилочным материалом (опилками), газации и прогрева воздушной среды, руководствуясь нормативами температуры и влажности, установленными на предприятии, в контрольный и опытный цеха были заселены цыплята кросса «Arbor Acres» (Таблица 1). Количество заселенных цыплят в обоих помещениях оказалось ниже запланируемого из-за нехватки инкубационных яиц.

Таблица 1 – Данные заселения цыплят-бройлеров

Table 1 – Data on broiler chicken introduction

Наименование	Норма посадки голов, шт.	Количество голов, шт.	Плотность посадки гол./м ²	Средняя масса при заселении, г.	Срок содержания, дни
Контрольный цех (механический способ поддержания микроклимата)	39250	31801	19,6	41	41
Опытный цех (автоматический способ поддержания микроклимата)	44928	37668	20,5	41	41

При заселении цыплят в контрольный цех средние значения температуры воздуха, влажности, интенсивности освещения составили соответственно 33 С°, влажность 53 %, освещенность 60 лк. Температура воздуха при заселении в опытный цех составила 33 С° при влажности 50 % и интенсивности освещения 60 лк. Для кормления птицы в опытном и контрольном цехах использовался полноценный рацион питания, принятый на предприятии.

В исследованиях, проводимых ранее различными авторами, основное внимание уделялось рациону цыплят, главным образом, качеству и сбалансированности кормов и пищевых добавок, а также зоогигиеническим условиям выращивания бройлеров. Установлено, что параметры микроклимата оказывают не меньшее влияние на жизненные показатели цыплят-бройлеров, чем рацион кормления [8].

При изучении факторов, влияющих на интенсификацию производства птицы, как правило, большинство ученых используют методы биологических исследований с привлечением математико-статистического анализа (метод наблюдения, экспериментальный метод, мониторинг, вариационная статистика и др.) [9]. Однако, авторы статьи предположили, что влияние микроклимата на рост цыплят бройлеров может быть изучено с привлечением методов регрессионного анализа, выявляющего вид и структуру взаимосвязей рассматриваемых факторов [10-12]. Это позволит выявить статистически значимые показатели микроклимата, оказывающие влияние на эффективность увеличения живой массы цыплят и придать результатам исследования биологическую интерпретацию.

Результаты исследования и их обсуждение

Для формализации отсутствия различий характеристик элементов выборок: изменение веса птицы и параметров микроклимата в контрольном и опытном цехах, использовались критерии Ф. Уилкоксона и Крамера-Уэлча. Проверка статистической гипотезы однородности двух рассматриваемых независимых выборок показала совпадение характеристик. Критерий Крамера-Уэлча составил 1,055708, критерий Уилкоксона – 0,806542, что меньше критического значения, равного 1,96.

В силу регрессионной однородности выборок возникает вопрос о возможности использования одинаковых по типу моделей для описания моделируемых процессов. Ответ на поставленный вопрос дает критерий Чоу о равенстве коэффициентов регрессии в двух выборках. Нулевая гипотеза проверялась с помощью F -статистики. Расчетное значение равно 8,481126, что больше критического – 2,504609. Это позволило сделать вывод о возможности построения двух различных однотипных математических моделей, описывающих закономерности развития моделируемых показателей.

На основе эмпирических данных (количество наблюдений 41) об изменении веса птицы и параметров микроклимата в контрольном и опытном цехах в ходе проведенных исследований были построены две линейные модели множественной регрессии зависимости живого веса цыплят (y) от температуры (x_1), влажности (x_2), освещенности (x_3) в цехах:

$$\begin{aligned} y_t^1 &= \beta_0 + \beta_1 x_{1t}^1 + \beta_2 x_{2t}^1 + \beta_3 x_{3t}^1 + \varepsilon_t^1, \\ y_t^2 &= \alpha_0 + \alpha_1 x_{1t}^2 + \alpha_2 x_{2t}^2 + \alpha_3 x_{3t}^2 + \varepsilon_t^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где y_t^1 – значения объясняемой переменной (объясняемые или зависимые переменные – выходные переменные, характеризующие поведение или результат функционирования [13]), $x_{1t}^1, x_{2t}^1, x_{3t}^1$ – значения объясняющих переменных (объясняющие или независимые переменные описывают условия функционирования [13]), ε_t^1 – случайная ошибка, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ – неизвестные параметры модели в контрольном цехе; y_t^2 – значения объясняемой переменной, $x_{1t}^2, x_{2t}^2, x_{3t}^2$ – значения объясняющих переменных, ε_t^2 – случайная ошибка, $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – неизвестные параметры модели в опытном цехе. Присутствие случайных ошибок в моделях обусловлено необходимостью учесть влияние на зависимые переменные ряда внешних факторов, не вошедших в модель (факторы рациона) [13-15].

Оценки неизвестных параметров математических моделей получены методом наименьших квадратов, в основе которого лежит минимизация суммы квадратов отклонений наблюдаемых значений зависимой переменной от рассчитанных по модели:

$$f(\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3) = \sum_{t=1}^{41} (y_t - \hat{y}_t)^2 =$$

$$= \sum_{t=1}^{41} (y_t - \gamma_0 - \gamma_1 x_{1t} - \gamma_2 x_{2t} - \gamma_3 x_{3t})^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где y_t – наблюдаемые значения зависимой переменной, \hat{y}_t – расчетные значения зависимой переменной, x_{1t}, x_{2t}, x_{3t} – значения независимых переменных, $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – неизвестные параметры модели в общем случае.

Сформулированная оптимизационная задача требует выполнения необходимых условий существования экстремума функции $f(\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ по переменным $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, что приводит к системе линейных алгебраических уравнений вида:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \gamma_0} = -2 \sum_{t=1}^{41} (y_t - \gamma_0 - \gamma_1 x_{1t} - \gamma_2 x_{2t} - \gamma_3 x_{3t}) = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \gamma_1} = -2 \sum_{t=1}^{41} (y_t - \gamma_0 - \gamma_1 x_{1t} - \gamma_2 x_{2t} - \gamma_3 x_{3t}) x_{1t} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \gamma_2} = -2 \sum_{t=1}^{41} (y_t - \gamma_0 - \gamma_1 x_{1t} - \gamma_2 x_{2t} - \gamma_3 x_{3t}) x_{2t} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial \gamma_3} = -2 \sum_{t=1}^{41} (y_t - \gamma_0 - \gamma_1 x_{1t} - \gamma_2 x_{2t} - \gamma_3 x_{3t}) x_{3t} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Раскрывая скобки и выполняя очевидные тождественные преобразования, получаем классическую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} 41\gamma_0 + \gamma_1 \sum_{t=1}^{41} x_{1t} + \gamma_2 \sum_{t=1}^{41} x_{2t} + \gamma_3 \sum_{t=1}^{41} x_{3t} = \sum_{t=1}^{41} y_t \\ \gamma_0 \sum_{t=1}^{41} x_{1t} + \gamma_1 \sum_{t=1}^{41} x_{1t}^2 + \gamma_2 \sum_{t=1}^{41} x_{1t} \cdot x_{2t} + \gamma_3 \sum_{t=1}^{41} x_{1t} \cdot x_{3t} = \sum_{t=1}^{41} y_t \cdot x_{1t} \\ \gamma_0 \sum_{t=1}^{41} x_{2t} + \gamma_1 \sum_{t=1}^{41} x_{1t} \cdot x_{2t} + \gamma_2 \sum_{t=1}^{41} x_{2t}^2 + \gamma_3 \sum_{t=1}^{41} x_{2t} \cdot x_{3t} = \sum_{t=1}^{41} y_t \cdot x_{2t} \\ \gamma_0 \sum_{t=1}^{41} x_{3t} + \gamma_1 \sum_{t=1}^{41} x_{1t} \cdot x_{3t} + \gamma_2 \sum_{t=1}^{41} x_{2t} \cdot x_{3t} + \gamma_3 \sum_{t=1}^{41} x_{3t}^2 = \sum_{t=1}^{41} y_t \cdot x_{3t}, \end{cases} \quad (4)$$

решением которой служит вектор оценок неизвестных параметров – $\hat{\gamma}=(\hat{\gamma}_0, \hat{\gamma}_1, \hat{\gamma}_2, \hat{\gamma}_3)$. Подстановка найденных значений в предложенные регрессионные модели позволяет записать их следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{y}_t^1 &= 41,095 - 111,963x_{1t}^1 + 56,145x_{2t}^1 + 14,818x_{3t}^1, \\ \hat{y}_t^2 &= 1451,844 - 126,587x_{1t}^2 + 37,842x_{2t}^2 + 14,971x_{3t}^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Построение моделей завершается их идентификацией, т. е. проверкой гипотез о статистической значимости оцениваемых неизвестных параметров. Нулевая гипотеза проверяется с помощью t -статистики, расчетные значения оценок параметров больше критического – $t_{кр}=1,992997$, что говорит о статистической значимости включенных в модели факторов (Рисунки 1, 2).

После этого возникает вопрос об адекватности и пригодности (верификации), т. е. соответствии исходных данных y_t данным модельных расчетов \hat{y}_t . Решающей характеристикой точности анализируемой регрессионной модели является коэффициент детерминации R^2 , лежащий в пределах от 0 до 1. В построенных нами математических моделях коэффициент детерминации принял значения: $R^2=0,976624$ – первая модель, $R^2=0,98089$ – вторая модель. Таким образом, 97,66 % изменчивости веса цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres» определяется влиянием показателей микроклимата первой модели и 98,09 % – второй (Рисунки 1, 2).

Статистическая значимость модели в целом определяется с помощью F -статистики. Проверка критерия Фишера: $F=515,2788$ – первой модели, $F=547,5151$ – второй модели больше критического значения $F_{кр}=2,90112$, позволила сделать вывод о значимости построенных линейных регрессионных моделей (Рисунки 1, 2).

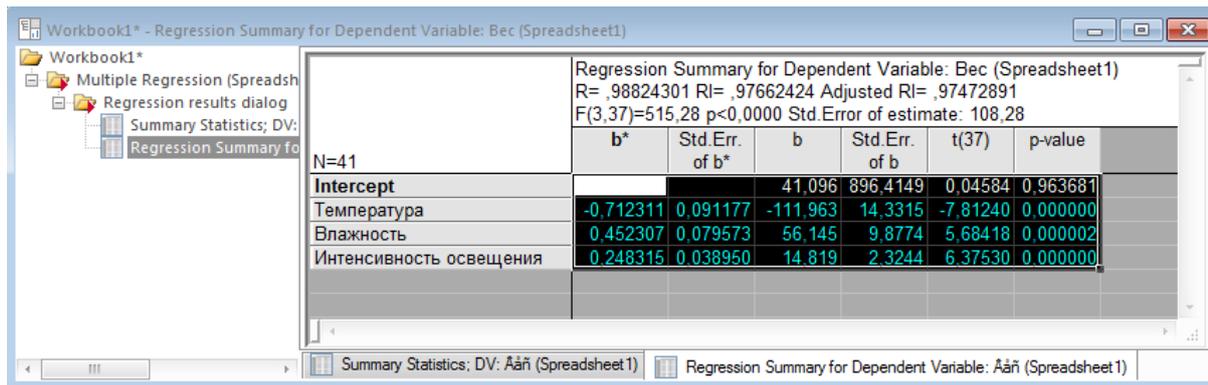


Рисунок 1 – Результаты регрессионного анализа по модели контрольного цеха
Figure 1 – Results of regression analysis based on the control shop model

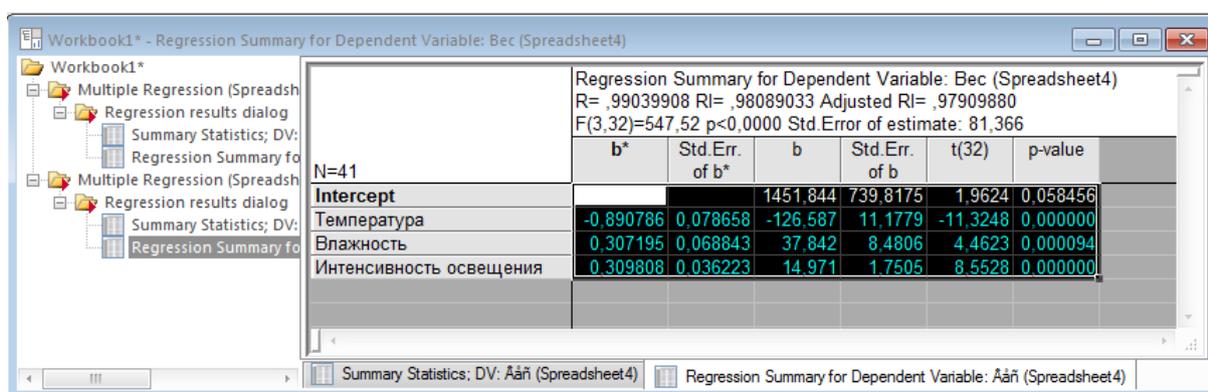


Рисунок 2 – Результаты регрессионного анализа по модели опытного цеха
Figure 2 – Results of regression analysis based on the pilot shop model

Интерпретация результатов проведенного регрессионного анализа первой модели показала (Рисунок 1):

– зависимость живого веса птицы от температуры в цехе обратная, с увеличением температуры на один градус вес птицы уменьшается в среднем на 112 г при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от влажности в цехе прямая, с увеличением влажности на один процент вес птицы увеличивается в среднем на 56 г при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от интенсивности освещения в цехе прямая, с изменением интенсивности освещения на один люкс вес птицы увеличивается в среднем на 14,8 г при фиксированных уровнях остальных факторов.

Интерпретация результатов проведенного регрессионного анализа второй модели показала (Рисунок 2):

– зависимость живого веса птицы от температуры в цехе обратная, с увеличением температуры на один градус вес птицы уменьшается в среднем на 126,6 г при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от влажности в цехе прямая, с увеличением влажности на один процент вес птицы увеличивается в среднем на 37,8 г при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от интенсивности освещения в цехе прямая, с изменением интенсивности освещения на один люкс вес птицы увеличивается в среднем на 14,97 г при фиксированных уровнях остальных факторов.

Для проверки качества и точности описания исходного процесса двумя построенными моделями применен двухсторонний критерий Фишера. Вычисленное значение критерия Фишера оказалось равным 1,9837, что больше критического значения 1,7295. Следовательно, выбор должен быть сделан в пользу второй модели, описывающей количественные взаимосвязи показателей в опытном цехе. Дополнительно этот вывод подтверждается сравнением найденных средних ошибок аппроксимации построенных моделей, для первой модели она составила 9,37 %, второй – 7,01 %.

Анализ количественных закономерностей и зависимости влияния показателей микроклимата на моделируемый фактор приводит к необходимости провести ранжирование их по степени влияния на средний вес птицы с использованием коэффициентов эластичности и долей влияния факторов. Интерпретация результатов расчета коэффициентов эластичности факторов первой модели показала:

– зависимость живого веса птицы от температуры в цехе обратная, с увеличением температуры на один процент вес птицы уменьшается в среднем на 3,18 % при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от влажности в цехе прямая, с увеличением влажности на один процент вес птицы увеличивается в среднем на 3,88 % при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от интенсивности освещения в цехе прямая, с изменением интенсивности освещения на один процент вес птицы увеличивается в среднем на 0,24 % при фиксированных уровнях остальных факторов.

Анализ долей влияния факторов первой модели на зависимую переменную выявил, что наибольшее влияние оказывает температура (50,7 %), затем влажность (34,8 %), наименьшее влияние – интенсивность освещения (14,5 %).

Интерпретация результатов расчета коэффициентов эластичности факторов второй модели показала:

– зависимость живого веса птицы от температуры в цехе обратная, с увеличением температуры на один процент вес птицы уменьшается в среднем на 4,52 % при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от влажности в цехе прямая, с увеличением влажности на один процент вес птицы увеличивается в среднем на 3,12 % при фиксированных уровнях остальных факторов;

– зависимость живого веса птицы от интенсивности освещения в цехе прямая, с изменением интенсивности освещения на один процент вес птицы увеличивается в среднем на 0,33 % при фиксированных уровнях остальных факторов.

Анализ долей влияния факторов второй модели на зависимую переменную выявил, что наибольшее влияние оказывает температура (51,6 %), затем влажность (32,1 %), наименьшее влияние – интенсивность освещения (16,3 %).

Оценка влияния заложенных в модель факторов на ключевой показатель, проведенная с помощью регрессионного анализа, как частного случая математического моделирования, согласуется с данными эксперимента, проведенного авторами (взвешивание каждые 7 дней и ежедневная фиксация показателей микроклимата). Несомненно, что важнейшими факторами, оказывающими существенное влияние на повышение продуктивности сельскохозяйственной птицы, являются показатели микроклимата (температура, влажность и интенсивность освещения) в птицеводческих помещениях. Отклонение которых от установленных норм, приводит к уменьшению продуктивности, а также к увеличению затрат кормов, воды, труда и средств на ремонт

технологического оборудования, снижению продолжительности эксплуатации птицеводческих помещений [5].

Интерпретация оценки коэффициента при переменной, описывающей изменение температуры в помещении, показала обратную зависимость. Опытным путем было установлено, что при увеличении температуры воздуха в помещениях до 35-40 °С температура тела птицы повышается на 0,5-1,0 °С относительно нормы, что, в свою очередь, увеличивает потребление воды в 2-3 раза, снижает активность пищеварительных ферментов и приводит к минеральному истощению мышечной и костной тканей.

Интерпретация оценки коэффициента при переменной, описывающей изменение влажности в помещении, показала прямую зависимость. Общеизвестно, что недостаточно влажный воздух в помещениях уменьшает продуктивность поголовья и может привести к стрессовым реакциям: ухудшению здоровья птицы, повышению риска распространения инфекционных заболеваний, увеличению падежа, сдерживанию привеса и т. д. [5].

Использование *F*-статистики (отношение сумм квадратов остатков первой и второй моделей), равное 1,33, попадающее в интервал $\left(\frac{1}{F(0,05;37;37)}; F(0,05; 37; 37)\right)$, позволило сделать вывод о том, что обе построенные модели одинаково хорошо описывают воздействие микроклимата на продуктивность молодняка птицы. Следовательно, применение методов регрессионного анализа привело к заключению о том, что в контрольном и опытном цехах выращивание птицы поставлено на должном уровне.

Оценки построенных регрессионных моделей отображают тот факт, что во второй модели (опытный цех) количественные характеристики: коэффициент детерминации, множественный коэффициент корреляции, *F*-статистика лучше по сравнению с первой моделью (контрольный цех), что подтверждается основными производственными показателями по итогам (Таблица 2).

Таблица 2 – Основные производственные показатели по итогам выращивания цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres»

Table 2 – Main production indicators based on the results of farming Arbor Acres cross broiler chickens

Показатели	Контрольный цех (механический способ поддержания микроклимата)	Опытный цех (автоматический способ поддержания микроклимата)
Вес в начале выращивания, г	41	41
Вес в конце выращивания, г	2222	2308
Абсолютный прирост, г	2181	2267
Средний суточный прирост, г	54,53	59,18
Относительный прирост, %	192,7	193,0
Сохранность, %	92,56	95,39

Конечным показателем, характеризующим эффективность производства продукции животноводства, в частности, птицеводства, считается экономический эффект – абсолютный показатель, измеряемый в денежных единицах. Кроме абсолютной

величины экономического эффекта, необходимо знать и его относительную величину, сопоставляющую результат с затратами на его получение. Годовой экономический эффект, а также затраты на его достижение есть основа для подсчета экономической эффективности – показателя, определяемого соотношением экономического эффекта и затрат, породивших этот эффект. С этими экономическими показателями тесно связано понятие окупаемости затрат. В результате расчетов основных экономических показателей по итогам выращивания цыплят-бройлеров было получено, что, автоматизация регулирования микроклимата приводит к приросту дохода на 30,21 % за один цикл выращивания цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres», что составит предположительно 13540939,19 руб. в год, при этом суммарные затраты в опытном цехе будут за год равны 4050126 руб. Предполагаемый экономический эффект от внедрения окажется равным 9490,813 тыс. руб. в год, в том числе на одну голову за один цикл выращивания 37,93 руб., а экономическая эффективность – 234,33 % в год. В конечном счете затраты окупятся через три цикла выращивания.

Заключение

Построенные регрессионные математические модели статистически значимо описали зависимость живого веса цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres» от эндогенных факторов микроклимата. Более адекватной по результатам расчетов оказалась модель, относящаяся к опытному цеху. Результаты позволили ранжировать включенные факторы по степени их влияния на экзогенную переменную: наибольшее воздействие оказывает температура, затем влажность, и наименьшее из показателей – интенсивность освещения. При необходимости может быть выполнен прогноз изменения живой массы птицы при варьировании значений одного из внешних факторов, влияющих на нее без проведения натурных исследований. Аналогичные выводы актуальны и для модели, относящейся к контрольному цеху. Графическая аппроксимация исходных данных данными модельных расчетов, приведенных в статье моделей, подтверждает сделанные выводы.

Основные производственные показатели по итогам выращивания поголовья, вычисленные в ходе исследования, полностью согласуются с результатами выполненного регрессионного анализа при математическом моделировании влияния показателей микроклимата на интенсификацию производства бройлеров кросса «Arbor Acres» за один полный цикл их выращивания.

Основные экономические показатели по итогам выращивания цыплят-бройлеров кросса «Arbor Acres» на примере «Саянский бройлер» подтверждает необходимость внедрения автоматизации производственных процессов в птицеводстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Егорова Т.А. Развитие российского птицеводства в мировом тренде. *Птицеводство*. 2019;2:4–9. DOI: 10.33845/0033-3239-2019-68-2-4-9.
2. Фисинин В.И., Буяров В.С., Буяров А.В., Шуметов В.Г. Мясное птицеводство в регионах России: современное состояние и перспективы инновационного развития. *Аграрная наука*. 2018;2:30–38.
3. Акбаев М., Малофеев Н., Цыпляев А. и др. Резервы повышения продуктивности бройлеров. *Птицеводство*. 2003;7:5–7.
4. Астраханцев А.А. Продуктивность цыплят-бройлеров при различных технологических вариантах выращивания. *Птицеводство*. 2019;1:26–30. DOI: 10.33845/0033-3239-2019-68-1-26-30.

5. Зыков С.А. Современные тенденции развития птицеводства. *Эффективное животноводство*. 2019;4:51–54.
6. Буяров В.С., Годыменко В.И., Буяров А.В., Ноздрин А.Е. Эффективность инновационных технологий промышленного производства мяса бройлеров. *Вестник аграрной науки*. 2017;2(65):36–47.
7. Писарев Ю., Батов В. Откорм птицы при напольном содержании. *Птицеводство*. 2003;5:13–14.
8. Михалёв П.В., Василевский Н.М. Эффективность применения новых методов контроля микроклимата при выращивании цыплят-бройлеров. *Ученые записки Казанской Государственной Академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2012;212:319–323.
9. Карелина Л.Н., Власов Б.Я., Суслопарова Н.В. Световой режим, как экологический и стрессовый фактор в развитии сельскохозяйственных птиц. *Объединенный научный журнал*. 2011;11(12):111–113.
10. Дрейпер Н., Смит Г. *Прикладной регрессионный анализ*. М.: Диалектика; 2017. 912 с.
11. Меркурьева Е.К. *Основы биометрии*. М.: Издательство МГУ; 1963. 242 с.
12. Плохинский Н.А. *Биометрия*. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР; 1961. 364 с.
13. Айвазян С.А. *Прикладная статистика. Основы эконометрики*: Учеб. В 2 т. 2-е изд., испр. Т. 2. М.: ЮНИТИ-ДАНА; 2001. 432 с.
14. Брандт З. *Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников*. М.: Мир; 2003. 686 с.
15. Стрижов В.В., Крымова Е.А. *Методы выбора регрессионных моделей*. М.: ВЦ РАН; 2010. 60 с.

REFERENCES

1. Egorova T.A. The development of Russian poultry farming in the global trend. *Ptitsevodstvo*. 2019;2:4–9. DOI: 10.33845/0033-3239-2019-68-2-4-9 (In Russ.).
2. Fisinin V.I., Buyarov V.S., Buyarov A.V., Shumetov V.G. Meat poultry farming in the regions of Russia: current state and prospects for innovative development. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2018;2:30–38. (In Russ.).
3. Akbaev M., Malofeev N., Tsyplyaev A. etc. Reserves for increasing the productivity of broilers. *Ptitsevodstvo*. 2003;7:5–7. (In Russ.).
4. Astrakhantsev A.A. The productivity of broiler chickens with different technological options for growing. *Ptitsevodstvo*. 2019;1:26–30. DOI: 10.33845/0033-3239-2019-68-1-26-30 (In Russ.).
5. Zykov S.A. Modern trends in the development of poultry farming. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2019;4:51–54. (In Russ.).
6. Buyarov V.C., Godymenko V.I., Buyarov A.V., Nozdrin A.E. The effectiveness of innovative technologies for the industrial production of broiler meat. *Vestnik agrarnoi nauki*. 2017;2(65):36–47. (In Russ.).
7. Pisarev Yu., Batov V. Fattening of poultry in outdoor conditions. *Ptitsevodstvo*. 2003;5:13–14. (In Russ.).
8. Mikhalev P.V., Vasilevsky N.M. The effectiveness of the application of new methods of microclimate control in the cultivation of broiler chickens. *Uchenye zapiski Kazanskoi Gosudarstvennoi Akademii veterinarnoi meditsiny im. N.E. Baumana*. 2012;212:319–323. (In Russ.).

9. Karelina L.N., Vlasov B.Ya., Susloparova N.V. Light regime as an ecological and stress factor in the development of farm birds. *Ob"edinennyi nauchnyi zhurnal*. 2011;11(12):111–113. (In Russ.).
10. Draper N., Smith G. *Applied regression analysis*. M.: Dialectics; 2017. 912 p. (In Russ.).
11. Merkur'yeva E.K. *Fundamentals of biometrics*. M.: Publishing house of Moscow State University; 1963. 242 p. (In Russ.).
12. Plokhinsky N.A. *Biometrics*. Novosibirsk: Publishing House of SO AN SSR; 1961. 364 p. (In Russ.).
13. Aivazyan S.A. *Applied statistics. Fundamentals of econometrics*: Proc. In 2 vols. 2nd ed., corr. T. 2. M : UNITI-DANA; 2001. 432 p. (In Russ.).
14. Brandt Z. *Data analysis. Statistical and computational methods for scientists*. M.: Mir; 2003. 686 p. (In Russ.).
15. Strizhov V.V., Krymova E.A. *Methods for choosing regression models*. M.: VTS RAN; 2010. 60 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Белых Татьяна Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент Байкальского государственного университета, Иркутск, Российская Федерация.

e-mail: bti_baikal@mail.ru

Tatyana Ivanovna Belykh, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation.

Бурдуковская Анна Валерьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент Педагогического института Иркутского государственного университета, Иркутск, Российская Федерация.

e-mail: buran_baikal@mail.ru

Anna Valerievna Burdukovskaya, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at Pedagogical Institute of Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation.

Ивонина Ольга Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежовского, Иркутск, Российская Федерация.

e-mail: olga.ivonina.63@mail.ru

Olga Yurievna Ivonina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk, Russian Federation.

Родионов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент Байкальского государственного университета, Иркутск, Российская Федерация.

e-mail: avr-v@yandex.ru

ORCID: [0000-0003-0451-2655](https://orcid.org/0000-0003-0451-2655)

Aleksei Vladimirovich Rodionov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Baikal State University, Irkutsk, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 11.01.2023; одобрена после рецензирования 09.02.2023; принята к публикации 02.03.2023.

The article was submitted 11.01.2023; approved after reviewing 09.02.2023; accepted for publication 02.03.2023.