

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.223.2:697.329

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-10-15>

Прогнозирование теплотехнических характеристик системы естественной вентиляции коровника

А.И. Купреенко¹, Х.М. Исаев², Г.В. Шкуратов³, С.Х. Исаев⁴^{1,2,3,4} Брянский государственный аграрный университет; с. Кокино, Брянская область, Россия¹ kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>² haf-iz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>³ grigorsh696@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-9980-0101>⁴ samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Аннотация. Прогнозирование теплотехнических характеристик воздушного солнечного коллектора, установленного на наружных стенах коровника, осуществлялось с применением математической модели, использующей линейную зависимость изменения температуры тепловоспринимающей поверхности в течение суток с учётом переменных факторов окружающей среды. В настоящих исследованиях предлагается применять квадратичную зависимость температуры окружающей среды от времени суток. Температура окружающей среды и плотность потока солнечной энергии, поступающего на вертикальную поверхность, в зависимости от времени суток отличаются для различных регионов страны, времён года, а также в пределах одного времени года. Целью исследований является установление данных зависимостей для условий Брянской области на основе материалов актинометрических наблюдений метеорологических станций с периодом не менее 5 лет. В рамках исследований измерялась прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность коровника. Получили уравнения для условий как ясного неба, так и средней облачности для срединного дня каждого месяца года, предполагая, что зависимости будут характерными для всех дней данного месяца. В результате исследований получены регрессионные зависимости, описывающие суточный ход температуры воздуха и интенсивность солнечной радиации для срединных месяцев времён года (январь, апрель, июль и октябрь). Полученные результаты позволяют повысить точность расчётов температуры тепловоспринимающей поверхности вентиляционно-отопительных панелей с учётом факторов окружающей среды и обеспечить прогнозирование теплотехнических характеристик системы естественной вентиляции коровника.

Ключевые слова: интенсивность солнечной радиации, поверхность коровника, суточный ход температуры, температура окружающей среды, плотность потока солнечной энергии, прогнозирование теплотехнических характеристик

Для цитирования: Купреенко А.И., Исаев Х.М., Шкуратов Г.В., Исаев С.Х. Прогнозирование теплотехнических характеристик системы естественной вентиляции коровника // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 6. С. 10-15. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-10-15>.

ORIGINAL PAPER

Forecasting the thermal performance of the natural ventilation system used in a cowshed

A.I. Kupreenko¹, Kh.M. Isaev², G.V. Shkuratov³, S.Kh. Isaev⁴^{1,2,3,4} Bryansk State Agrarian University; Kokino village, Vygonichi district, Bryansk Region, Russia¹ kupreenkoai@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>² haf-iz@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>³ grigorsh696@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-9980-0101>⁴ samir.isaev.94@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>

Abstract. To predict the thermal characteristics of an air solar collector mounted on the outer walls of the cowshed, the authors proposed a mathematical model based on the linear dependence of the change in the temperature of the heat-receiving surface during the day, taking into account variable environmental factors. The present study proposes to apply a quadratic dependence of the ambient temperature on the time of day. The ambient temperature and the flux density of solar energy reaching the vertical surface, depending on the time of day, differs for different regions of the country, seasons, as well as within the same season. The study aims to establish these dependences for the conditions of the Bryansk region based on the materials of actinometric observations of meteorological stations with a period of at least 5 years. The study measured direct solar radiation reaching the cowshed surface perpendicular to the sunlight. Equations were

obtained for both clear sky and medium cloudiness conditions for the middle day of each month of the year, assuming that the dependences would be characteristic of all days of a given month. As a result of the research, regression dependences describing the diurnal course of air temperature and solar radiation intensity for the median months of the seasons (January, April, July, and October) were obtained. The obtained results may help increase the accuracy of calculations of the temperature of the heat-receiving surface of ventilation and heating panels taking into account environmental factors and to provide forecasting of the thermal characteristics of the natural ventilation system of the cowshed.

Keywords: natural ventilation, solar radiation, heat-receiving surface of the solar collector, thermal balance

For citation: Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Shkuratov G.V., Isaev S.Kh. Forecasting the thermal performance of the natural ventilation system used in a cowshed. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(6):10-15. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-6-10-15>.

Введение. Основой микроклимата в помещениях крупного рогатого скота является естественная вентиляция, обеспечиваемая использованием различного типа штор, вентиляционных жалюзи, сдвигающихся панелей¹. Недостатками системы естественной вентиляции на основе этих устройств являются сложность конструкции, попадание пыли и птиц в помещение и опасность возникновения сквозняков. С целью устранения данных недостатков была предложена система естественной вентиляции коровников на основе вентиляционно-отопительных панелей – ряда вертикальных воздушных солнечных коллекторов, установленных на наружных стенах коровника [1].

Для прогнозирования теплотехнических характеристик воздушного солнечного коллектора была предложена математическая модель изменения температуры его тепловоспринимающей поверхности в течение суток с учётом переменных факторов окружающей среды [2]. Такая зависимость связывает параметры переменных внешних факторов с конструктивно-технологическими параметрами воздушного солнечного коллектора. Аналогичная модель успешно применялась по отношению к анализу теплового баланса комбинированного теплообменника сушилки аэродинамического подогрева [3-5].

Предложенная модель была уточнена в работе [6]. Однако сложность применения на практике математической модели теплового баланса воздушного солнечного коллектора заключается в том, что для расчёта необходимо знать две функциональные зависимости:

$$T_0(t) = a_0 t + b_0; \quad (1)$$

$$q_B(t) = at^2 + bt + c, \quad (2)$$

где $T_0(t)$ – температура окружающей среды в зависимости от времени суток, °C; $q_B(t)$ – плотность потока солнечной энергии, поступающего на вертикальную поверхность, в зависимости от времени суток, Вт/м²; a_0, b_0, a, b, c – эмпирические коэффициенты.

¹ Федоренко И.Я., Садов В.В. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2012. 304 с.

Зависимости (1) и (2) будут отличаться для различных регионов страны, времён года, а также в пределах одного времени года.

Цель исследований: установление зависимостей температуры окружающей среды и плотности потока солнечной энергии от времени суток для условий Брянской области как при ясном небе, так и при средней облачности для срединного дня (15-е число, для февраля – 14-е) каждого месяца года, при предположении того, что данные зависимости будут характерными для всех дней данного месяца.

Материалы и методы. Для установления зависимостей воспользовались данными по солнечной радиации и суточной температуре^{2,3}. Данные получены на основе материалов актинометрических наблюдений метеорологических станций с периодом не менее 5 лет. В процессе наблюдений на станциях измерялась прямая (поступающая на перпендикулярную к солнечным лучам поверхность) и рассеянная (поступающая на горизонтальную поверхность со всех точек небесного свода после рассеяния в атмосфере) солнечная радиация.

От средних многолетних (при периоде осреднения 30 и более лет) данные по прямой солнечной радиации могут отличаться на 20%. Публикуемые величины по приходящей солнечной радиации практически могут быть распространены на близлежащие окрестности метеорологической станции в радиусе 50...100 км. Актинометрические наблюдения на станциях производились 5 раз в сутки в сроки: 6 ч 30 мин, 9 ч 30 мин, 12 ч 30 мин, 15 ч 30 мин, 18 ч 30 мин по среднему солнечному времени.

По данным прямой солнечной радиации можно рассчитать величину радиации, поступающей на вертикальные поверхности любой ориентации по формуле:

$$q_B = q \cdot \cosh_{\theta} \cos(A_{\theta} - A), \quad (3)$$

где q_B – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность, Вт/м²; q – прямая солнечная радиация, поступающая на перпендикулярную

² Справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 60 с.

³ Справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 236 с.

к солнечным лучам поверхность, Вт/м²; h_0 – высота солнца, град.; A_0 – азимут солнца, град.; A – азимут нормали к вертикальной поверхности, град.

Для условий Брянской области данные по прямой солнечной радиации q в условиях средней облачности примем на основании таблицы 3 «Интенсивность радиации, срочные наблюдения (кал/см²·мин)» справочника по климату⁴. Данные по прямой солнечной радиации S при ясном небе примем на основании таблицы 5 «Интенсивность радиации при ясном небе (кал/см²·мин)» этого же источника. В формуле (3) эти данные используем с учётом соотношения 1 кал/(см²·мин) = 698 Вт/м². Высоту солнца h_0 примем на основании таблицы 2 «Высота солнца на 15-е число месяца (град.)»⁴.

Азимут A вертикальной поверхности, ориентированной на юг, равен нулю.

Азимут солнца A_0 изменяется от 0 до 180° и определяется из формулы⁵:

$$\sin A_0 = \operatorname{sech}_0 \cos \delta \sin \omega, \quad (4)$$

где δ – склонение Солнца в данный день года, град.; ω – часовой угол Солнца, град.

Для расчётов склонение Солнца δ примем для среднего дня месяцев года⁴. Склонение Солнца δ имеет знак «+» для лета (от весеннего до осеннего равноденствия) и знак «-» в остальное время года.

Часовой угол Солнца ω в солнечный полдень равен нулю, в полночь – 180°, а 1 час соответствует 15°. При $\omega < 90^\circ$ он имеет знак «+», а при $\omega > 90^\circ$ – знак «-».

Использование выражений (3) и (4) и справочных данных позволит найти зависимость (2) для каждого месяца года как при ясном небе, так и в условиях средней облачности.

Для нахождения зависимости (1) воспользуемся данными таблицы 2 «Суточный ход температуры воздуха»⁶.

Результаты и их обсуждение. Результаты расчёта по формулам (3) и (4) значения величины солнечной радиации q_B , поступающей на вертикальную поверхность южной ориентации для условий Брянской области, представлены в таблице 1. Данные по суточному ходу температуры воздуха для условий Брянской области представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что использование линейной зависимости (1) для построения регрессии будет достаточно грубым приближением. Более точно описывать суточный ход температуры будет полиномиальная зависимость второй степени в виде:

$$T_0(t) = a_0 t^2 + b_0 t + c_0, \quad (5)$$

где a_0, b_0, c_0 – эмпирические коэффициенты.

Тогда на основании [6] и с учётом уравнения (5) математическая модель изменения температуры

Интенсивность солнечной радиации (Вт/м²) при средней облачности / ясном небе на 15-е число каждого месяца по результатам многолетних наблюдений⁴

Таблица 1

Radiation intensity with medium cloudiness / clear sky (in W/m²) on the 15th day of each month based on the results of long-term observations⁴

Время суток	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
6 ч 30 мин	0/0	0/0	0/0	161/ 476	235/ 500	274/ 501	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
9 ч 30 мин	51/ 382	101/ 440	130/ 416	249/ 660	258/ 525	274/ 466	48/ 82	118/ 218	153/ 361	145/ 443	114/ 510	42/ 399
12 ч 30 мин	140/ 653	208/ 700	238/ 680	207/ 574	193/ 470	217/ 413	207/ 464	232/ 511	253/ 632	206/ 702	190/ 746	120/ 633
15 ч 30 мин	26/ 265	88/ 371	137/ 432	191/ 620	201/ 560	250/ 549	132/ 291	149/ 336	151/ 389	94/ 385	51/ 260	11/ 159
18 ч 30 мин	0/0	0/0	0/0	21/ 189	103/ 334	179/ 407	52/ 120	18/ 61	0/0	0/0	0/0	0/0

Таблица 2

Суточный ход температуры воздуха (°C) на 15-е число каждого месяца по результатам многолетних наблюдений⁶

Таблица 2

Daily variation of air temperature (in °C) on the 15th day of each month according to the results of long-term observations⁶

Время суток	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
6 ч 30 мин	-8,1	-8,6	-4,8	2,8	10,8	14,5	16,0	13,0	8,5	3,5	-1,0	-5,3
9 ч 30 мин	-7,8	-7,6	-3,2	5,9	14,7	18,5	20,5	18,2	13,3	6,0	-0,1	-5,0
12 ч 30 мин	-6,6	-5,8	-1,2	8,1	16,6	20,5	22,5	20,8	16,2	8,5	1,1	-4,3
15 ч 30 мин	-6,5	-5,5	-0,9	8,5	17,0	20,7	23,0	21,0	16,4	8,5	1,1	-4,6
18 ч 30 мин	-7,5	-6,6	-2,6	6,9	15,5	19,4	21,2	18,6	13,3	6,1	0,1	-5,0

⁴ Справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 60 с.

⁵ Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991. 208 с.

⁶ Справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 236 с.

тепловоспринимающей поверхности вентиляционно-отопительной панели в течение суток будет иметь вид:

$$T = T(t) = (T_0 - T_*)e^{-\lambda t} + At^2 + Bt + T_*, \quad (6)$$

где
$$T_* = \frac{K_4 - \frac{K_1}{K_5} \left(K_3 - 2K_1 \frac{K_2}{K_5} \right)}{K_5};$$

$$\lambda = \frac{K_5}{K_1}; \quad A = \frac{K_2}{K_5}; \quad B = \left(\frac{K_3}{K_5} - 2K_1 \frac{K_2}{K_5^2} \right).$$

$$K = kF + L_0 (C_c + 10^{-3} x C_0);$$

$$K_1 = MC; \quad K_2 = aF_s \varepsilon + a_0 K;$$

$$K_3 = bF_s \varepsilon + b_0 K; \quad K_4 = cF_s \varepsilon + (c_0 - b_1) K; \quad K_5 = a_1 K, \quad (7)$$

где T_0 – начальная температура тепловоспринимающей поверхности, К; k – коэффициент теплопередачи через ограждения коллектора, Вт/(м²·К); F – площадь ограждений коллектора, м²; L_0 – расход атмосферного воздуха, кг/с; C_c – теплоёмкость сухого воздуха, кДж/(кг·К); x – влагосодержание воздуха, г/кг; C_0 – теплоёмкость пара, кДж/(кг·К); M – масса тепловоспринимающей поверхности коллектора, кг; C – теплоёмкость материала тепловоспринимающей поверхности, кДж/(кг·К); F_s – площадь тепловоспринимающей поверхности коллектора, м²; ε – степень черноты поверхности; a_1 , b_1 – эмпирические коэффициенты.

Общий вид модели по сравнению с предыдущей моделью [6] не изменился. Скорректированы только выражения коэффициентов K_2 , K_3 , K_4 .

На основании данных таблиц 1 и 2 получены регрессионные зависимости (табл. 3, 4). Для срединных месяцев времён года: января, апреля, июля и октября – регрессионные зависимости представлены на рисунке.

Таблица 3

Регрессионные зависимости суточного хода температуры воздуха (°С) на 15-е число каждого месяца по результатам многолетних наблюдений⁷

Table 3

Regression dependences of the daily variation of air temperature (in °C) on the 15th day of each month based on the results of long-term observations⁷

Месяц Month	Уравнение регрессии Regression equation	Коэффициент детерминации Coefficient of determination R^2
I	$T_0 = -0,0294t^2 + 0,8175t - 12,401$	0,7781
II	$T_0 = -0,0452t^2 + 1,3343t - 15,616$	0,9143
III	$T_0 = -0,0659t^2 + 1,8702t - 14,439$	0,938
IV	$T_0 = -0,0889t^2 + 2,5822t - 10,349$	0,9938
V	$T_0 = -0,0976t^2 + 2,8305t - 3,4508$	0,9995
VI	$T_0 = -0,0984t^2 + 2,8603t + 0,1144$	0,999
VII	$T_0 = -0,1119t^2 + 3,2276t - 0,2058$	0,9984
VIII	$T_0 = -0,1397t^2 + 3,9587t - 6,8244$	0,9999
IX	$T_0 = -0,1468t^2 + 4,094t - 12,05$	0,9952
X	$T_0 = -0,0976t^2 + 2,6971t - 10,184$	0,9614
XI	$T_0 = -0,0397t^2 + 1,1054t - 6,6628$	0,9333
XII	$T_0 = -0,019t^2 + 0,5095t - 7,89$	0,8357

Таблица 4

Регрессионные зависимости интенсивности радиации (Вт/м²) при средней облачности и ясном небе на 15-е число каждого месяца по результатам многолетних наблюдений⁸

Table 4

Regression dependences of radiation intensity (W/m²) with medium cloudiness and clear sky on the 15th day of each month based on the results of long-term observations⁸

Месяц Month	Уравнение регрессии. Коэффициент детерминации / Regression equation. Coefficient of determination	
	При средней облачности / Under medium cloudiness	При ясном небе / With clear sky
I	$q_B = -2,8333t^2 + 70t - 337,89. R^2 = 0,681$	$q_B = -15,5t^2 + 383,6t - 1834,1. R^2 = 0,899$
II	$q_B = -4,8016t^2 + 119,61t - 579. R^2 = 0,8812$	$q_B = -17,548t^2 + 436,39t - 2095. R^2 = 0,959$
III	$q_B = -5,8968t^2 + 147,65t - 717,15. R^2 = 0,9547$	$q_B = -17,524t^2 + 438,63t - 2123,7. R^2 = 0,9807$
IV	$q_B = -3,8889t^2 + 85,956t - 231,01. R^2 = 0,9448$	$q_B = -8,7143t^2 + 197,39t - 445,12. R^2 = 0,8676$
V	$q_B = -1,3413t^2 + 22,832t + 146,32. R^2 = 0,88$	$q_B = -2,8333t^2 + 60,933t + 209,84. R^2 = 0,5932$
VI	$q_B = -0,4127t^2 + 3,1841t + 270,91. R^2 = 0,7172$	$q_B = -0,1984t^2 + 1,4603t + 483,52. R^2 = 0,0797$
VII	$q_B = -3,8889t^2 + 103,49t - 528,17. R^2 = 0,7736$	$q_B = -8,4206t^2 + 225,48t - 1159,8. R^2 = 0,7291$
VIII	$q_B = -5,5159t^2 + 140,13t - 687,09. R^2 = 0,9494$	$q_B = -11,54t^2 + 296,49t - 1470,2. R^2 = 0,9131$
IX	$q_B = -6,4286t^2 + 160,65t - 776,52. R^2 = 0,9729$	$q_B = -15,984t^2 + 400,54t - 1945,1. R^2 = 0,969$
X	$q_B = -5,1667t^2 + 127,47t - 604,04. R^2 = 0,9339$	$q_B = -17,714t^2 + 440,92t - 2118,8. R^2 = 0,965$
XI	$q_B = -4,3254t^2 + 106,03t - 500,74. R^2 = 0,8158$	$q_B = -17,952t^2 + 440,48t - 2074,5. R^2 = 0,8755$
XII	$q_B = -2,3254t^2 + 57,102t - 273,97. R^2 = 0,6047$	$q_B = -14,476t^2 + 353,9t - 1663,1. R^2 = 0,8074$

⁷ Справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 2. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 236 с.

⁸ Справочник по климату СССР. Вып. 28. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 60 с.

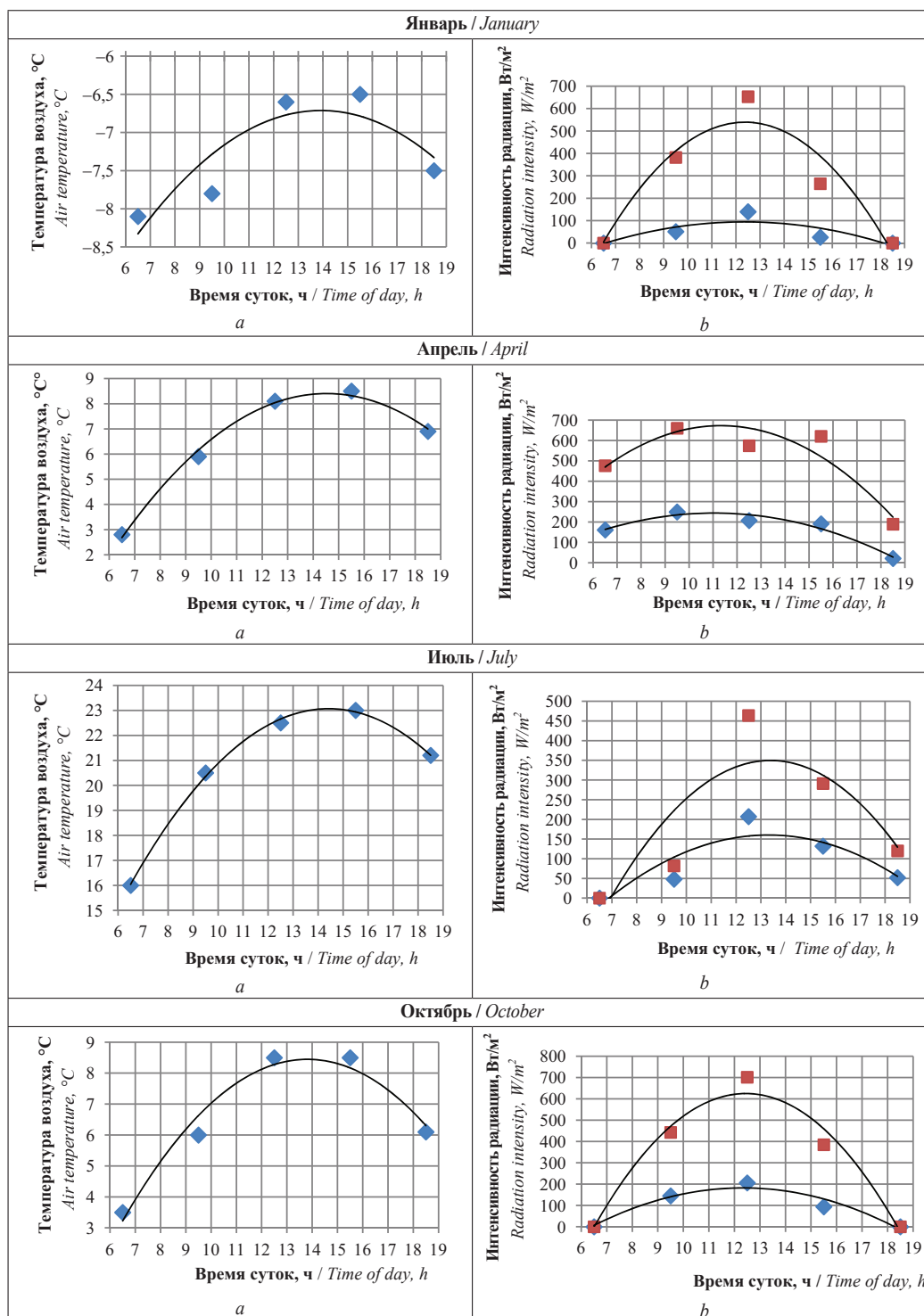


Рис. Суточный ход температуры (а) и интенсивность солнечной радиации (б) при средней облачности (■) и ясном небе (◆) для срединных месяцев

Fig. Daily variation of temperature (a) and solar radiation intensity (b) under medium cloudiness (■) and clear sky (◆) for the middle months

Коэффициент детерминации полиномиальной зависимости 2-й степени имеет достаточно большое значение (табл. 3, 4) (рис.).

По данным таблицы 3 определяются соответствующие коэффициенты a_0 , b_0 , c_0 зависимости (5). По данным таблицы 4 определяются соответствующие коэффициенты a , b , c зависимости (2).

Выводы

Установленные зависимости суточного хода температуры воздуха и поступления прямой радиации на вертикальную поверхность южной ориентации при средней облачности и ясном небе на 15-е число каждого месяца года позволяют получить необходимую исходную информацию

по параметрам окружающей среды для реализации уточнённой математической модели (6). Выходные теплотехнические характеристики вентиляционно-отопительных панелей системы естественной

вентиляции коровника могут быть определены как для благоприятных условий при ясном небе, так и для усредненных погодных условий при средней облачности.

Список литературы

1. Исаев Х.М., Купреенко А.И., Исаев С.Х. Плодово-ягодная сушилка с комбинированным теплообменником // Сельский механизатор. 2020. № 1. С. 16-17. EDN: JYVENQ.
2. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Шкуратов Г.В. Тепловой баланс вентиляционно-отопительной панели // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 4 (24). С. 24-26. EDN: WTRMEF.
3. Kupreenko A., Isaev K., Mikhailichenko S., Kuznetsov Y., Kravchenko I., Asonja A., Kalashnikova L. Heat balance of combined heat exchanger aerodynamic heating dryers. *Advanced Engineering Letters*. 2022;1(3):80-87. <https://doi.org/10.46793/adeletters.2022.1.3.2>
4. Комогорцев В.Ф., Купреенко А.И., Исаев Х.М. Определение температуры нагрева тепловоспринимающей поверхности гелиоколлектора // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2017. № 1 (16). С. 262-266. EDN: YNUJMB.
5. Купреенко А.И., Комогорцев В.Ф., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Тепловой баланс комбинированного теплообменника сушилки аэродинамического подогрева // Агроинженерия. 2020. № 6 (100). С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-66-73>
6. Шкуратов Г.В., Михайличенко С.М. Тепловой баланс воздушного солнечного коллектора в системе естественной вентиляции коровника // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9, № 3. С. 98-104. EDN: DILVBR.

Информация об авторах

Алексей Иванович Купреенко¹, д-р техн. наук, профессор, директор инженерно-технологического института; <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>; kupreenkoai@mail.ru

Хафиз Мубариз-оглы Исаев², канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>; haf-iz@mail.ru

Григорий Вячеславович Шкуратов³, преподаватель СПО; <https://orcid.org/0009-0000-9980-0101>; grigorsh696@gmail.com

Самир Хафизович Исаев⁴, канд. техн. наук, доцент кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>; samir.isaev.94@inbox.ru

^{1,2,3,4} Брянский государственный аграрный университет; 243365, Россия, Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, 2а

Вклад авторов

А.И. Купреенко – концептуализация, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование
Х.М. Исаев – формальный анализ.
Г.В. Шкуратов – ресурсы.
С.Х. Исаев – формальный анализ, визуализация.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 25.05.2023, после рецензирования и доработки 21.06.2023; принята к публикации 21.06.2023

References

1. Isaev Kh.M., Kupreenko A.I., Isaev S.Kh. Fruit and berry dryer with a combined heat exchanger. *Selskiy Mehanizator*. 2020;1:16-17. (In Rus.)
2. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Shkuratov G.V. The ventilation-and-heating panel's heat balance. *Vestnik Vserossiyskogo Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Mekhanizatsii Zhivotnovodstva*. 2016;4:24-26. (In Rus.)
3. Kupreenko A., Isaev K., Mikhailichenko S., Kuznetsov Y., Kravchenko I., Asonja A., Kalashnikova L. Heat balance of combined heat exchanger aerodynamic heating dryers. *Advanced Engineering Letters*. 2022;1(3):80-87. <https://doi.org/10.46793/adeletters.2022.1.3.2>
4. Komogortsev V.F., Kupreenko A.I., Isaev Kh.M. Determination of heating temperature of a helium collector's heat receiving surface. *Konstruirovaniye, Ispolzovaniye i Nadezhnost Mashin Selskhozaystvennogo Naznacheniya*. 2017;1:262-266. (In Rus.)
5. Kupreenko A.I., Komogortsev V.F., Isaev Kh.M., Isaev S.Kh. Heat balance of combined heat exchanger used in aerodynamic heating dryers. *Agricultural Engineering*. 2020;6(100):66-73. (In Rus.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-66-73>
6. Shkuratov G.V., Mihaylichenko S.M. Thermal balance of the air solar collector in the natural ventilation system of a cowshed. *Innovative Machinery and Technology*. 2022;9(3):98-104. (In Rus.)

Information about the authors

Aleksei I. Kupreenko¹, DSc (Eng), Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3781-9592>; kupreenkoai@mail.ru

Khafiz M. Isaev², CSc (Econ), Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0003-4912-9908>; haf-iz@mail.ru

Grigoriy V. Shkuratov³, Lecturer; <https://orcid.org/0009-0000-9980-0101>; grigorsh696@gmail.com

Samir Kh. Isaev⁴, CSc (Eng), Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0002-6877-3128>; samir.isaev.94@inbox.ru

^{1,2,3,4} Bryansk State Agrarian University; 2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichi district, Bryansk Region, 243365, Russia

Contribution of the authors

A.I. Kupreenko – conceptualisation, draft finalizing and editing
H.M. Isaev – formal analysis
G.V. Shkuratov – resources.
S.H. Isaev – formal analysis, visualization.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper are equally responsible for plagiarism.

Received 25.05.2023; revised 21.06.2023; accepted 21.06.2023