

Расчет локальных электрообогревателей для молодняка (Растимешин С.А., Тихомиров Д.А., Трунов С.С.)

Для молодняка животных должны быть созданы условия теплового комфорта [28], [29]. Известно, что обоснование энергетических параметров локальных обогревательных устройств следует вести на основании уравнения теплового баланса живого организма.

В то же время обобщенная методика расчета теплообмена молодняка животных, применяя которую можно было бы провести оптимизацию средств локального обогрева в полном виде не создана.

Аналитическая оценка величины температуры помещения вне локальных обогреваемых зон. При математическом моделировании теплообмена расчетного животного с окружающей средой рационально вместо температуры воздуха t_a и радиационной температуры внутренних поверхностей ограждающих конструкций τ_R использовать комплексный параметр - температуру помещения t_p [30]. Это позволяет осуществить контроль температуры фактически ощущаемой животным $t_{s.p}$ [31], [32]. Величину t_p определим, как:

$$t_p = At_a + B\tau_R; \quad (33)$$

где A и B - тепловые коэффициенты, характеризующие степень теплового воздействия на животное ограждений и окружающего воздуха. При этом в соответствии с [33],

$$A = 1 - B; \quad (34)$$

Величину B принимают для свинарников 0,42, коровников 0,3.

Более точно величины A и B можно получить из тепловой характеристики животного как

$$A = \alpha_c / (\alpha_r + \alpha_c); \quad (35)$$

$$B = \alpha_r / (\alpha_r + \alpha_c); \quad (36)$$

где α_c и α_r - коэффициенты конвективной и лучистой теплоотдачи.

Определим t_p , для животноводческого помещения с конкретными t_a и τ_R . Рассмотрим два случая.

1. Животное стоит в идеализированной климатической камере с $t_a^c = \tau_R^c = t_p = t_{s,p}$.

При этом

$$\begin{aligned} Q_s^c &= Q_r^c + Q_c^c; \\ Q_r^c &= \alpha_r^c (\tau_{sur}^c - t_p) \varphi_R F_\Sigma; \\ Q_c^c &= \alpha_c^c (\tau_{sur}^c - t_p) F_\Sigma; \end{aligned} \quad (37)$$

где Q_s^c , Q_r^c и Q_c^c - теплопотери животного: суммарные, лучистые, конвективные, Вт; α_r^c и α_c^c - коэффициенты теплоотдачи излучением и конвекцией, Вт/м²°C; τ_{sur}^c - температура поверхности животного, °C; φ_R - коэффициент облученности; F_Σ - площадь, м².

2. Животное стоит в помещении с t_a и τ_R , при этом $t_a \neq \tau_R$.

Тогда

$$\begin{aligned} Q_s^p &= Q_r^p + Q_c^p; \\ Q_r^p &= \alpha_r^p (\tau_{sur}^p - \tau_R) \varphi_R F_\Sigma; \\ Q_c^p &= \alpha_c^p (\tau_{sur}^p - t_a) F_\Sigma; \end{aligned} \quad (38)$$

где Q_s^p , Q_r^p , Q_c^p , α_r^p , α_c^p , τ_{sur}^p - те же зависимости, но для реального помещения.

Состояние животного одинаково и соответствует одному и тому же значению $t_{s,p}$ (т.е. $Q_s^c = Q_s^p$; $\tau_{sur}^c = \tau_{sur}^p = \tau_{sur}$) и, следовательно, температурная обстановка равноценна. Тогда получим

$$t_p = \alpha_c^p t_a / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) + \alpha_r^p \tau_R / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) + [1 - (\alpha_r^p + \alpha_c^p) / (\alpha_r^c + \alpha_c^c)] \tau_{sur}; \quad (37)$$

Принято допущение $\varphi_R = 1$.

При этом оправдано допущение

$$\alpha_c^c = \alpha_c^p = \alpha_c; \quad (40)$$

$$\alpha_r^c = \alpha_r^p = \alpha_r; \quad (41)$$

Тогда

$$t_p = \alpha_c t_a / (\alpha_r + \alpha_c) + \alpha_r \tau_R / (\alpha_r + \alpha_c); \quad (42)$$

Результаты расчетов, выполненных, например, для овчарни, показаны в Таблица 3.

Таблица 3

Расчетные величины тепловых коэффициентов А и В для овчарни

Т _р , °С	0	5	10	15	20	25
А	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,41
В	0,47	0,49	0,51	0,53	0,56	0,59

Оценка температуры в зонах размещения молодняка при локальном обогреве:

Если животное стоит:

Обычно применяют уравнения типа (33) в виде

$$t_{s,p} = At_a + B\tau_R + CE; \quad (38)$$

где C - коэффициент обогрева, °См²/Вт; E - тепловой поток от ИК излучателя, Вт/м².

При этом принято пользоваться соотношением

$$C = k k_1; \quad (39)$$

где $k \approx 1$ - опытный коэффициент; k_1 - градуировочный коэффициент.

Применение коэффициента $C=0,04$ м²°С/Вт обосновано недостаточно (а для некоторых видов животных - таких, например, как ягнята, цыплята, крольчата и др., такие исследования к настоящему времени практически отсутствуют).

В связи с этим C требует уточнения. С этой целью представляет интерес аналитическое определение k_1 как функции нескольких переменных и сопоставление результатов расчетов с экспериментальными данными.

В опытах, описанных в [34], для измерения величины E был использован плоский термоэлемент конструкции ФГУП ВНИИТВЧ,

представляющий собой медь-константановую термопару диаметром 0,5 мм, припаянную снизу на зачерненную медную фольгу (квадрат 50×50 мм толщиной 0,5 мм). При измерении E термоэлемент был расположен в воздухе под инфракрасной лампой мощностью 250 Вт на уровне, соответствующем положению облучаемой поверхности тела животного. Измерения были проведены при комнатной температуре в условиях естественной конвекции воздуха.

Для определения k_1 рассмотрим тепловой баланс указанной пластины (термоэлемента) при равномерном инфракрасном нагреве. Составляющие теплового баланса пластины показаны на рисунке 20.

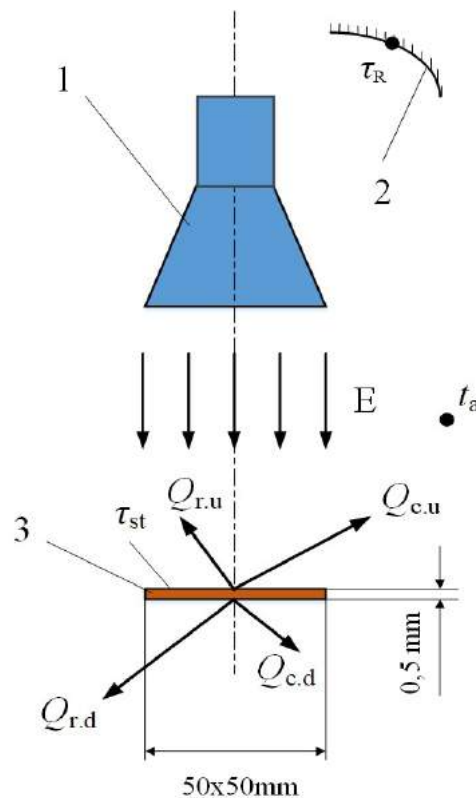


Рисунок 20. – Расчетная схема теплового баланса нагреваемого объекта
1- источник ИК излучения; 2- внутренняя поверхность ограждающих конструкций помещения (фрагмент); 3- нагреваемая пластина

Примем, что термоэлемент, имеющий вид плоской металлической пластины площадью $F=0,025 \text{ м}^2$ с пренебрежимо малой толщиной, имеет в установившемся режиме температуру τ_{st} , °С, одинаковую по всему его объему. Теплоотдачей с торцов пластины пренебрегаем. Пластина

облучается с одной (верхней) стороны, а отвод теплоты в окружающую среду происходит с двух сторон (то есть теплоотдающая поверхность вдвое больше тепловоспринимающей). С учетом этого уравнение теплового баланса пластины уравнение имеет вид

$$aEF = Q_{r.u} + Q_{c.u} + Q_{r.d} + Q_{c.d}; \quad (40)$$

где $a=1$ - коэффициент восприятия инфракрасного излучения зачерненной пластиной; $Q_{r.u}$, $Q_{c.u}$, $Q_{r.d}$, $Q_{c.d}$ - лучистая и конвективная теплоотдачи с верхней и нижней поверхности рассматриваемой пластины соответственно, Вт [5].

$$\begin{aligned} Q_{r.d} = Q_{r.u} &= \varepsilon_{pl} C_o [0,81 + 0,005(\tau_{st} + \tau_R)] \times (\tau_{st} - \tau_R) F; \\ Q_{c.u} &= 2,17(\tau_{st} - t_a + 60V_a^2/l_{pl})^{1/3} (\tau_{st} - t_a) F; \\ Q_{c.d} &= 1,16(\tau_{st} - t_a + 60V_a^2/l_{pl})^{1/3} (\tau_{st} - t_a) F; \end{aligned} \quad (46)$$

где $\varepsilon_{pl} \approx 1$ - приведенный коэффициент излучения поверхности облучаемого тела и внутренних поверхностей ограждающих конструкций в помещении; $l_{pl} = 0,05$ м - характерный размер поверхности пластины.

Обозначим

$$\Delta\tau_1 = ak_1 E; \quad (41)$$

где $\Delta\tau_1$ - приращение температуры пластины от действия инфракрасного излучения, °С.

Для упрощения расчетов примем

$$\tau_R = t_a; \quad (42)$$

Тогда

$$\tau_{st} - \tau_R = \tau_{st} - t_a = \Delta\tau_1; \quad (49)$$

Решая совместно (45) ... (37) с учетом (49), имеем выражение

$$k_1 = [2\varepsilon_{pl} C_o (0,81 + 0,005\Delta\tau_1) + 3,33(\Delta\tau_1 + 60V_a^2/l_{pl})^{1/3}]^{-1}; \quad (43)$$

На рисунке 21 показана полученная в результате расчетов по (50) зависимость $k_1 = f(\Delta\tau_1; V_a)$.

Для реально возможных значений $\Delta\tau_1$ и V_b в условиях животноводческих и птицеводческих помещений с молодняком получена область между кривыми, соответствующими $V_a=0$ и $V_a=0,2$ м/с. Здесь же приведена прямая, соответствующая $k_1=0,04$ м²С/Вт (усредненные экспериментальные данные).

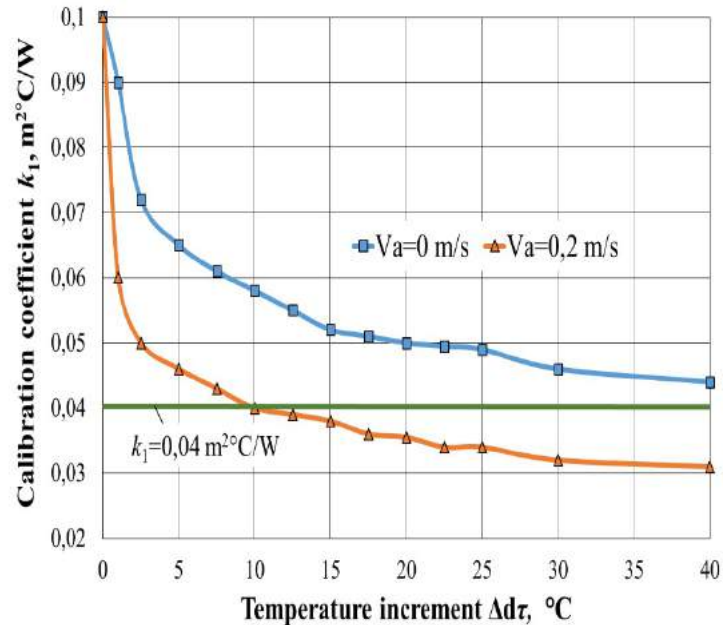


Рисунок 21. – Зависимость величины градуировочного коэффициента k_1 от $\Delta\tau$:

Как видно из рисунка 21, аппроксимация опытных данных k_1 прямой $k_1=0,04$ м²С/Вт достаточно хорошо согласуется с расчетными данными при $V_a=0,2$ м/с и $15^\circ\text{C} > \Delta\tau_1 > 8^\circ\text{C}$. При меньших значениях V_a и $\Delta\tau_1$ использование в расчетах значения $k_1=0,04$ м²С/Вт может привести к ощутимым погрешностям.

Значения составляющих (43) определим в соответствии с (20).

В соответствии с (37) рассмотрим 2 случая:

1. ТАС=τRC=TP=TS.P.

Тогда

$$\begin{aligned}
 Q_s^c &= Q_r^c + Q_c^c; \\
 Q_r^c &= \alpha_r^c (\tau_{sur}^c - t_p) (F_{sh} + F_{cr}) \varphi_R; \\
 Q_c^c &= \alpha_c^c (\tau_{sur}^c - t_p) (F_{sh} + F_{cr});
 \end{aligned}
 \tag{44}$$

2. t_a и τ_R , причем $t_a \neq \tau_R$.

$$\begin{aligned}
 Q_s^p &= Q_r^p + Q_c^p + Q_{r.sh}^p + Q_{c.sh}^p - \Delta Q_{RAD}; \\
 Q_r^p &= \alpha_r^p (\tau_{sur}^p - \tau_R) F_{cr} \varphi_R; \\
 Q_c^p &= \alpha_c^p (\tau_{sur}^p - t_a) F_{cr}; \\
 Q_{r.sh}^p &= \alpha_{r.sh}^p (\tau_{sur.sh}^p - \tau_R) F_{sh} \varphi_R; \\
 Q_{c.sh}^p &= \alpha_{c.sh}^p (\tau_{sur.sh}^p - t_a) F_{sh}; \\
 \Delta Q_{RAD} &= F_{ps} a_{sur} E;
 \end{aligned} \tag{45}$$

где Q_s^p - явные тепловыделения, Вт; Q_r^p и Q_c^p - лучистая и конвективная теплоотдача с F_{cr} , Вт; $Q_{r.sh}^p$ и $Q_{c.sh}^p$ - то же с необлучаемой поверхности F_{sh} , Вт; α_r^p и α_c^p - коэффициенты лучистой и конвективной теплоотдачи с облучаемой поверхности F_{cr} , Вт/м²°C; $\alpha_{r.sh}^p$ и $\alpha_{c.sh}^p$ - то же с необлучаемой поверхности F_{sh} , Вт/м²°C; τ_{sur}^p - температура поверхности животного для F_{cr} , °C; $\tau_{sur.sh}^p$ - то же для F_{sh} , °C; F_{ps} - площадь животного, воспринимаемая ИК излучение от в данном случае локального обогревателя; a_{sur} - коэффициент поглощения излучения.

Если тепловые условия одинаковы, то

$$Q_s^c = Q_s^p; \tag{46}$$

Решая (51) ... (53) относительно $t_p = t_{s,p}$, при $\varphi_R = 1$ получим

$$\begin{aligned}
 t_{s,p} &= (\alpha_c^p F_{cr} + \alpha_{c.sh}^p F_{sh}) t_a / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) + (\alpha_r^p F_{cr} + \alpha_{r.sh}^p F_{sh}) \tau_R / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) \\
 &+ (F_{cr} + F_{sh}) + a_{sur} F_{ps} E / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) + [\tau_{sur}^c - (\alpha_r^p + \alpha_c^p) F_{cr} \tau_{sur}^p / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) \\
 &+ (F_{cr} + F_{sh}) - (\alpha_{r.sh}^p + \alpha_{c.sh}^p) F_{sh} \tau_{sur.sh}^p / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh})];
 \end{aligned} \tag{47}$$

Допустим по аналогии с (40) и (41)

$$\alpha_r^p = \alpha_{r.sh}^p = \alpha_r^c = \alpha_r; \tag{48}$$

$$\alpha_c^p = \alpha_{c.sh}^p = \alpha_c^c = \alpha_c; \tag{49}$$

а животное обогреваем в пространстве ($F_\Sigma = F_{cr} + F_{sh} = F_{ps}$), то

$$\tau_{sur.sh}^p = \tau_{sur}^p = \tau_{sur}^c; \tag{57}$$

то

$$t_{s,p} = \alpha_c t_a / (\alpha_r + \alpha_c) + \alpha_r \tau_R / (\alpha_r + \alpha_c) + a_{sur} E / (\alpha_r + \alpha_c); \tag{50}$$

$$C = a_{sur}(\alpha_r + \alpha_c)^{-1}; \quad (51)$$

Обозначим для упрощения

$$1/(\alpha_r + \alpha_c) = \xi; \quad (52)$$

Тогда формула (59) предстанет в виде

$$C = \xi a_{sur}; \quad (53)$$

Аппроксимируем тепловую характеристику животного прямыми, соответствующими его теплоотдаче (Рисунок 22).

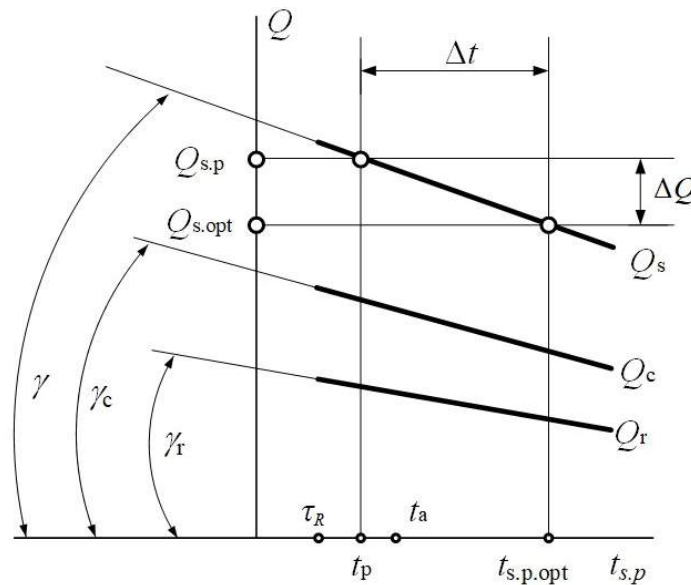


Рисунок 22. – Расчетная схема для определения коэффициента ξ .

В (52, 54) показано, что

$$tg\gamma_r = \alpha_r; \quad tg\gamma_c = \alpha_c; \quad (54)$$

Из рисунка 22 и уравнения (62) следует, что

$$tg\gamma = tg\gamma_r + tg\gamma_c = \alpha_r + \alpha_c; \quad (63)$$

Рассмотрим участок прямой Q_s (Рисунок 22). Животное находится в помещении с некоторой t_p , которую можно определить согласно (33) исходя из известных t_a и τ_R . При этом животное выделяет определенное количество явной теплоты $Q_{s,p}$. Пусть в этих условиях требуется создать животному некоторые оптимальные тепловые условия с $t_{s,p,opt}$, которым соответствует $Q_{s,opt}$. Увеличению $t_{s,p}$ на Δt (от t_p до $t_{s,p,opt}$) соответствует

уменьшение Q_s на ΔQ (от $Q_{s,p}$ до $Q_{s,opt}$):

$$\Delta t = \xi_l \Delta Q; \quad (55)$$

где ξ_l - коэффициент соответствия, °C/Вт.

Можно, согласно (64) и рис. 22, отметить, что

$$\xi_l = \Delta t / \Delta Q = ctg \gamma; \quad (56)$$

Тогда

$$\xi_l = 1 / (\alpha_r + \alpha_c); \quad (57)$$

При обогреве инфракрасным облучателем, когда $F_\Sigma \neq F_{ps}$, уравнения (43) и (58) примут вид

$$t_{s,p} = At_a + B\tau_R + CEF_{ps} / F_{om\delta}; \quad (58)$$

$$t_{s,p} = \alpha_c t_a / (\alpha_r + \alpha_c) + \alpha_r \tau_R / (\alpha_r + \alpha_c) + \xi a_{sur} E F_{cr} / F_\Sigma; \quad (59)$$

Требуемую величину E найдем из (67) или (68) как

$$E = (t_{s,p} - At_a - B\tau_R) / (\xi a_{sur} F_{cr} / F_\Sigma); \quad (60)$$

Расчет для лежащего животного

1. Животное стоит в климатической камере с $t_a^c = \tau_R^c = t_p = t_{s,p}$. Его тепловой баланс можно описать системой уравнений (51).

2. Животное лежит в помещении с τ_f , t_a и τ_R , причем $\tau_f \neq t_a \neq \tau_R$. Обогрев идет сверху ИК облучателем, при этом имеем некоторое значение E . От ИК облучателя животное получает теплоту ΔQ_{RAD} . Температура в месте контакта с грунтом τ_{af} (Рисунок 23).

$$Q_s^p = Q_r^p + Q_c^p + Q_t^p - \Delta Q_{RAD};$$

$$Q_r^p = \alpha_r^p (\tau_p^p - \tau_R) F_{cr} \Phi_R;$$

$$Q_c^p = \alpha_c^p (\tau_{sur}^p - t_a) F_{cr};$$

$$Q_t^p = (\tau_{af} - \tau_f) F_{sh} / R_f;$$

$$\Delta Q_{RAD} = F_{ps} a_{sur} E; \quad (61)$$

где R_f - сопротивление теплопередаче пола, м²°C/Вт.

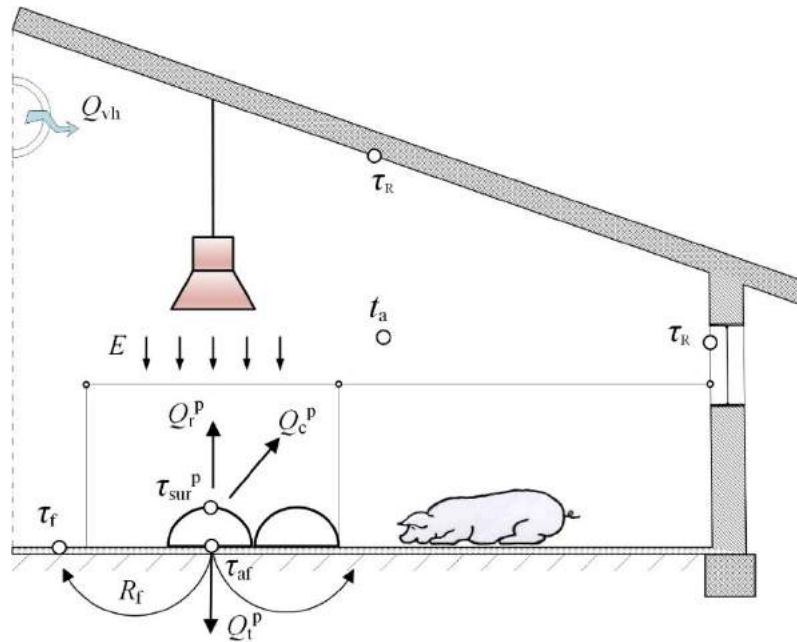


Рисунок 23. – Тепловой баланс для определения $t_{o.n}$ лежащего животного в помещении (на примере свиарника-маточника)

Решая совместно (51), (53), (70) относительно $t_p=t_{s,p}$, при $\varphi_R=1$ получим

$$t_{s,p} = \alpha_c^p F_{cr} t_a / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) + \alpha_r^p F_{cr} \tau_R / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) + \\ + a_{sur} F_{ps} E / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) + F_{sh} \tau_f / R_f (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) + \\ + [\tau_{sur}^c - (\alpha_r^p + \alpha_c^p) F_{cr} \tau_{sur}^p / (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh}) - F_{sh} \tau_{af} / R_f (\alpha_r^c + \alpha_c^c) (F_{cr} + F_{sh})]; \quad (62)$$

Для лежащего животного (когда $F_{sh} \neq 0$) можно, приняв изложенные допущения представить (58) как

$$t_{s,p} = A F_{cr} t_a / (F_{cr} + F_{sh}) + B F_{cr} \tau_R / (F_{cr} + F_{sh}) + C F_{cr} E / (F_{cr} + F_{sh}) + \\ + D F_{sh} \tau_f / (F_{cr} + F_{sh}); \quad (63)$$

Здесь A и B можно определить согласно (35), (36). Величину C найдем из (29), $aD = (R_f)^{-1} \xi$.

Таким образом, уравнения (39), (54), (71) и (72) получены на основании решения систем уравнений, описывающих тепловой баланс животного при теплообмене его с окружающей средой при внешнем тепловом воздействии, и поэтому являются достаточно строгим выражением температуры $t_{s,p}$, ощущаемой животным.

Обоснованы зависимости основных тепловых характеристик животных

как функций температуры помещения.

Определен один из основных показателей теплового состояния животных – температура его поверхности теплообмена. Этот показатель необходим для использования при разработке методики выбора требуемых параметров локальных обогревателей. При его изменении путем внешнего воздействия ИК-излучением можно влиять на тепловое состояние животного.