

Л.С.Герасимович, доктор технических наук, академик ААН РБ;

М.А.Прищепов, кандидат технических наук;

А.К.Кисель, А.П.Власенко, инженеры

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ УСТАНОВКИ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА
ПОРΟΣЯТ-СОСУНОВ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ СВИНАРНИКА-МАТОЧНИКА

Системы обогрева предназначены для создания в животноводческих помещениях благоприятного для нормальных физиологических отклонений организма животного режима. Этому режиму должна соответствовать максимальная (или экономически целесообразная) продуктивность при рациональном расходе корма. Для поросят раннего возраста (и в особенности новорожденных) с целью обеспечения их сохранности и максимальной продуктивности средства локального обогрева должны создавать условия теплового комфорта. Комфортность тепловой обстановки создает благоприятные условия для нормальной физиологической деятельности организма и, способствуя повышению естественной резистенции и иммунологической активности является одним из необходимых условий максимальной продуктивности.

Тепловые ощущения при заданном уровне активности являются функцией теплового баланса организма. Температурный комфорт — это тепловой баланс, поддержание которого требует минимальных физиологических усилий, то есть состояние, когда вся метаболическая теплота быстро передается среде, непосредственно окружающей организм, не вызывая значительных физиологических реакций (озноба и т.п.). Другими словами, животное находится в состоянии термического равновесия, то есть выделяет в окружающую среду определенное количество явной теплоты θ без перенапряжения аппарата терморегуляции, которое, в соответствии с терминологией [3], будем называть оптимальным уровнем теплопотерь $\theta_{\text{опт}}$ организма.

Под оптимальными теплопотерями следует понимать такое значение θ , которое оптимально с точки зрения физиологической потребности организма для обеспечения максимальной продуктивности животного и коэффициента полезного действия корма.

Приведенное условие теплового комфорта, обеспечивающее оптимальный уровень теплопотерь организма, примем в качестве основного критерия оптимизации энергетических параметров средств локального обогрева поросят.

Используя результаты исследований в области теплотехники, строительной теплофизики, физиологии и гигиены в части разработки и сравнительной оценки современного комплекса средств отопления, вентиляции и кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий [1, 8] можно сделать вывод, что при создании комфортных условий, обеспечивающих оптимальный уровень теплопотерь организма необходимо учитывать возможную неравномерность теплоотдачи с различных участков поверхности тела, а также поддерживать необходимое соотношение составляющих уравнения теплового баланса $\theta_{л}$, $\theta_{к}$, $\theta_{т}$ (теплоотдачи за счет излучения и конвекции свободной поверхностью, теплопроводностью поверхности контактирующей с напольным обогревателем). Отдача явной теплоты от внутренних органов организма к теплоотдающей поверхности кожного покрова поросенка происходит практически только теплопроводностью через поверхностный слой (кожный и жировой покров). Поэтому можно допустить, что способ дальнейшей теплоотдачи с поверхности кожного покрова в окружающую среду не оказывает существенного влияния на тепловое состояние организма поросенка, даже если преобладающей будет какая либо одна из составляющих теплового баланса. Аналогичный вывод сделан в работах [12, 11] при анализе особенностей теплообмена организма птиц и ягнят. Было сказано, что существенной разницы между конвективным, лучистым и контактными способами теплообмена в организме молодняка нет.

Наиболее существенным на наш взгляд является ограничение неравномерности теплоотдачи с различных участков поверхности тела. Основное внимание следует уделять созданию тепловых условий, при которых сведена к минимуму возможность местного перегрева или переохлаждения тела животного, то есть обеспечению равномерной теплоотдачи в окружающую среду. При ограниченном объеме информации примем максимальную равномерность явной теплоотдачи организма со всех участков поверхности в качестве дополнительного условия комфортности.

Приведенные условия теплового комфорта примем в качестве критерия оптимизации энергетических параметров средств локального обогрева поросят-сосунов.

Отметим, что в одном из частных случаев добиться оптимального значения $\theta_{ж}$, то есть выполнить основное условие комфортности можно за счет использования одностороннего локального обогрева. Однако в этом случае резко возрастает неравномерность теплоотдачи с различных поверхностей тела, что не удовлетворяет дополнительному условию комфортности. Очевидно, оптимальных результатов в большинстве случаев можно добиться при совместном (комбинированном) воздействии на поросенка кондуктивным (снизу) и лучистым (сверху) источниками тепла. Использование установки комбинированного обогрева (УКО) при правильном выборе полезной мощности каждого из источников позволит обеспечить поросенку не только комфортные тепловые условия с $\theta_{ж} = \theta_{ж,опт}$, но и сравнительно равномерную теплоотдачу практически со всей поверхности тела. Тем самым предоставляется возможность выполнить оба условия комфортности одновременно.

Таким образом задача оптимизации энергетических параметров УКО заключается в выборе полезной мощности верхнего и нижнего теплоисточников, которые в условиях конкретного свинарника-маточника ($t_a = const$) обеспечили бы поросенку комфортные тепловые условия с соблюдением обоих условий комфортности. При этом суммарную мощность верхнего и нижнего теплоисточников УКО следовало бы принять в качестве целевой функции при решении поставленной задачи.

Однако средства локального обогрева составляют только часть комплекта отопительного оборудования свинарника-маточника. Режимы их работы взаимосвязаны. Поэтому при разработке обогревательных устройств и обосновании режима их работы необходимо рассматривать все здание, как единую энергетическую систему, учитывая совместно вопросы общего и локального обогрева, вентиляции, а также теплотехники ограждающих конструкций и теплопродукции различных половозрастных групп животных. В качестве целевой функции следует принять энергозатраты всей системы электроотопления свинарника-маточника θ_p , исходя из обеспечения

комфортных условий в зоне нахождения поросят при допустимых значениях температуры внутри помещения t_R . При этом задача оптимизации сводится к определению расчетных значений энергетических параметров теплоисточников устройств локального обогрева и температуры t_R , обеспечивающих принятые условия комфортности.

Вполне очевиден тот факт, что оптимальная температура воздуха t_R , оказывающая наибольшее влияние на мощность теплового оборудования, в наибольшей степени будет зависеть от соотношения энергетических параметров устройств локального обогрева и общего отопления помещения.

В настоящее время имеются существенно различающиеся рекомендации по поддержанию температурного режима в маточниках, что можно объяснить отсутствием приемлимых методов их расчета. Например, по данным, которые приводятся в работе [2], температуру воздуха в свинарниках-маточниках при использовании комбинированного обогрева поросят рекомендуют поддерживать на уровне 10-15 °C. В методических рекомендациях ЦНИПТИМЭЖ [6] также указывается на довольно широкий предел оптимальной температуры воздуха в таких зданиях (10-16 °C).

Существенный разброс во мнениях можно объяснить спецификой условий проведения опыта, в котором практически невозможно учесть влияние большого числа факторов, а также различным подходом к выбору критериев оптимизации и целевой функции. Следует отметить также, что в настоящее время в литературе нет публикаций по оптимизации температурных режимов в свинарниках-маточниках, специфика которых заключается в наличии в одном помещении взрослых животных и молодняка. Ряд особенностей, присущих таким зданиям, не позволяет применить известные методы, разработанные применительно к помещениям, в которых содержатся взрослые животные. По этой причине и ставится задача разработать методику и провести оптимизацию энергетических параметров устройств локального обогрева и температурных режимов свинарников-маточников, отличающуюся новизной алгоритма и спецификой модели, учитывающей совместные режимы работы системы отопления и локального обогрева.

Анализ отечественных и зарубежных исследований, в которых содержатся сведения и рекомендации по организации температурного режима свиарников-маточников при использовании средств локального обогрева поросят показывает, что в них можно встретить различные утверждения об оптимальных температурах воздуха в довольно широком диапазоне - от 10 до 22 °С. Указанные пределы примем в качестве допустимого диапазона при решении поставленной оптимизационной задачи.

Задача оптимизации энергетических параметров системы общего и локального обогрева в математическом плане сводится к поиску минимального значения принятой целевой функции

$$Q_p \rightarrow \min \quad (1)$$

при выполнении ограничений

$$Q_{ж} - Q_{ж.опт} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{Q_{ж.св}}{Q_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} = 0, \quad (3)$$

представляющих собой математическую запись основного (2) и дополнительного (3) условий комфортности (где $Q_{ж.св}$ - тепловой поток со свободной части площади поверхности тела $F_{ж.св}$ участвующей лишь в конвективном и лучистом теплообмене;

$Q_{ж.конт}$ - тепловой поток с части площади поверхности тела $F_{ж.конт}$ участвующей в кондуктивном теплообмене с напольным обогревателем).

В общем случае расход тепла системой при комбинированном обогреве поросят

$$Q_p = Q_{от} + Q_{ик} + Q_{п}, \quad (4)$$

где $Q_{от}$ - мощность системы отопления, кВт; $Q_{ик}$ - мощность теплоисточников ИК-излучения, кВт; $Q_{п}$ - мощность напольных электрообогревателей, кВт.

Поскольку $Q_{от} = Q_{т.п} + Q_{в} + Q_{ис} - Q_{ж} - Q_{ик} - Q_{п}; \quad (5)$

$$Q_p = Q_{т.п} + Q_{в} + Q_{ис} - Q_{ж}. \quad (6)$$

Здесь $\Theta_{т.п}$ - теплопотери через строительные ограждения, кВт; Θ_R - тепловая мощность, расходуемая на подогрев приточного воздуха, кВт; $\Theta_{ис}$ - расход тепла на испарение влаги с пола и других поверхностей, кВт; $\Theta_{ж}$ - тепло, выделяемое животными, кВт.

При расчете теплопотерь через наружные ограждения (стены, окна, двери, ворота, перекрытия, пол) необходимо учитывать теплопотери через все ограждающие конструкции помещения.

Расчет теплопотерь проводится по уравнению теплопередачи

$$\Theta_{т.п} = \left(\sum_{i=1}^n n_i A_i (t_B - t_H) \right) / R_i, \quad (7)$$

где A_i - площадь i -ой ограждающей конструкции, m^2 ;
 R_i - термическое сопротивление теплопередаче i -ой ограждающей конструкции, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;
 n_i - коэффициент, учитывающий расположение i -й ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для наружных ограждений, непосредственно соприкасающихся с наружным воздухом, а также полов на грунте или на лагах $n = 1$);
 t_B - температура воздуха внутри помещения, $^\circ C$;
 t_H - температура наружного воздуха, $^\circ C$.

Тепловая мощность, расходуемая на подогрев приточного воздуха

$$\Theta_A = C \rho L_B (t_B - t_H), \quad (8)$$

где C - удельная изобарная теплоемкость воздуха (принимается 1000 Дж/кг/°C);
 ρ - плотность воздуха, кг/м³;
 L_B - расход вентилируемого воздуха, м³/с.

Расход вентилируемого воздуха рассчитывается по условию удаления влаговыделений и выделяющегося углекислого газа, при этом из двух рассчитанных расходов принимается наибольший.

$$L_B = \max (L_{H_2O}; L_{CO_2}). \quad (9)$$

$$L_{H_2O} = \frac{W_M + W_a}{3600 \rho (d_B - d_H)}, \quad (10)$$

где W_M - суммарные влаговыделения различными половозрастными группами животных (поросятами и свиноматками), г/ч;

W_a - дополнительные влаговыделения (принимаем равными $0,1 W_M$, г/ч);

d_B, d_H - влагосодержание внутреннего и наружного воздуха, г/кг.

Для определения влагосодержания воздуха в зависимости от его температуры получена эмпирическая зависимость, позволяющая рассчитать значение d (для условий Беларуси) с точностью до 2,5 %.

$$d = \frac{6,22 [\exp(-0,56 + 8 \cdot 10^{-2} t - 3,2 \cdot 10^{-4} t^2)] \varphi}{[99,3 - \exp(-0,56 + 8 \cdot 10^{-2} t - 3,2 \cdot 10^{-4} t^2)] \cdot (\varphi/100)}, \quad (11)$$

где t - температура воздуха, °C;

φ - относительная влажность воздуха, %.

Влаговыделения животных

$$W_M = \sum_{j=1}^k N_j L_{j H_2O} m_j K_{H_2O}(t), \quad (12)$$

где N_j - количество животных j -й половозрастной группы;

k - количество половозрастных групп;

m_j - масса одного животного j -й половозрастной группы, кг;

$L_{j H_2O}$ - влаговыделения животных j -й половозрастной группы на 1 кг массы при 10 °C, г/ч/кг;

$K_{H_2O}(t)$ - температурный коэффициент, учитывающий изменение влаговыделений в зависимости от температуры воздуха.

$$L_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{3600 (C_B - C_H)}, \quad (13)$$

где V_{CO_2} - суммарные выделения углекислого газа различными половозрастными группами животных, л/ч;
 C_B - предельно допустимая концентрация углекислого газа внутри помещения (для свинарников = 2 л/м³);
 C_H - концентрация углекислого газа в приточном воздухе (принимается 0,2...0,5 л/м³).

$$V_{CO_2} = \sum_{j=1}^k N_j L_{jCO_2} m_j K_{CO_2}(t), \quad (I4)$$

где L_{jCO_2} - выделение углекислого газа j -й половозрастной группой животных на 1 кг живой массы при 10 °С, г/ч/кг;
 $K_{CO_2}(t)$ - температурный коэффициент, учитывающий изменение выделений углекислого газа, в зависимости от температуры воздуха.

Величины влаго- и газовыделений животных взрослого поголовья (массу которых за весь обогреваемый период можно считать неизменной) зависят только от температуры воздуха и определяются значениями $K_{H_2O}(t)$ и $K_{CO_2}(t)$. Для молодняка эти величины являются как функцией температуры воздуха, так и живой массы, значение которой за обогреваемый период изменяется в несколько раз. Используемые зависимости газо- и влаговыделений от температуры $K_{CO_2}(t)$, $K_{H_2O}(t)$, а также изменения влаговыделений и веса поросят от возраста получены в виде полиномов n -ой степени.

В результате аппроксимации приведенных в литературных источниках данных [9, 10, 7, 4, 5] и записи степенного полинома по схеме Горнера получили

$$K_{H_2O}(t) = 0,65 + t(0,11183338 - t(2,1577789 \cdot 10^{-2} - t(1,5827787 \cdot 10^{-3} - t(4,3555586 \cdot 10^{-5} - t \cdot 4,222226 \cdot 10^{-7}))))); \quad (I5)$$

$$K_{CO_2}(t) = 1,14 + t(7,1333322 \cdot 10^{-2} - t(5,2611087 \cdot 10^{-3} - t(4,5611093 \cdot 10^{-4} - t(1,6662216 \cdot 10^{-5} - t \cdot 2,0888882 \cdot 10^{-7}))))); \quad (I6)$$

$$L_{H_2O}(I) = 17,303085 - I(2,7989914 - I(2,6679594 \cdot 10^{-1} - I(1,1051897 \cdot 10^{-2} - I \cdot 1,6197988 \cdot 10^{-4}))); \quad (I7)$$

$$m(I) = 0,8972462 + I(0,20871817 - I(6,1466192 \cdot 10^{-3} - I(1,8362573 \cdot 10^{-4} - I \cdot 1,3391717 \cdot 10^{-6}))), \quad (18)$$

где I - расчетный день обогреваемого периода.

Мощность, затрачиваемая на испарение влаги

$$\theta_{ис} = r W \dot{a} / 3,6, \quad (19)$$

где r - скрытая теплота парообразования водяных паров (принимается $2,5$ кДж/г).

Тепловая мощность выделения свободной теплоты взрослым поголовьем

$$\theta''_{ж} = N q m K_q(t), \quad (20)$$

где q - тепловыделения животными на 1 кг живой массы при 10 °С, (для свиноматок весом 200 кг $q = 2,386$ Вт/кг [7]);

$K_q(t)$ - температурный коэффициент, учитывающий изменение тепловыделений животных в зависимости от изменения температуры воздуха, полученный по программе аппроксимации нелинейных функций [7]

$$K_q(t) = 1,25 - t(1,1533332 \cdot 10^{-2} + t(3,8111114 \cdot 10^{-3} - t(4,0111114 \cdot 10^{-4} - t(1,8222224 \cdot 10^{-5} - t \cdot 2,755555 \cdot 10^{-7}))))). \quad (21)$$

Суммарная мощность тепловыделений свободной теплоты животными

$$\theta_{ж} = \theta''_{ж} + \theta'_{ж}, \quad (22)$$

где $\theta'_{ж}$ - тепловыделения поросятами, Вт.

Основой для расчета $\theta'_{ж}$ является математическая модель теплообмена поросенка с ЭНУ, описывающая тепловой баланс организма животного.

Таким образом, математическую модель оптимизации энергетических режимов ЭНУ и температуры воздуха можно записать в виде следующей системы уравнений:

$$\Theta_p \rightarrow \min;$$

$$\Theta_p = \Theta_{т.п} + \Theta_B + \Theta_{ис} - \Theta_{ж};$$

$$\Theta_{ж} = \Theta_{ж}'' + \Theta_{ж}';$$

$$\Theta_{ж}' = \Theta_{ж.св} + \Theta_{ж.конт};$$

$$\Theta_{ж.св} = \frac{1}{R_{пов}} (t_{ж} - t_{к.св}) F_{ж.св};$$

$$\Theta_{ж.конт} = \frac{1}{R_{пов}} (t_{ж} - t_{к.конт}) F_{ж.конт};$$

$$t_{к.св} = t_{ж} - \frac{R_{пов}}{F_{ж.св}} [\Theta_{п}(t_{к.св}) + \Theta_{к}(t_{к.св}) - \Theta_{икл \rightarrow ж}(t_{к.св})];$$

$$t_{к.конт} = \frac{1}{L_2 - L_1} \int_{L_1}^{L_2} t_{п} dx;$$

$$\delta \int \frac{d^2 t_{п}}{dx^2} + q_{\nu} + q_{ж.конт} - q_{п.к}^H - q_{п.л}^H = 0;$$

$$\delta \int \frac{d^2 t_{п}}{dx^2} + q_{\nu} + q_{икл \rightarrow п} - q_{п.к}^B - q_{п.к}^H - q_{п.л}^B - q_{п.л}^H = 0;$$

при ограничениях

$$\Theta_{ж} - \Theta_{ж.опт} = 0;$$

$$\frac{\Theta_{ж.св}}{\Theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} = 0,$$

(2)

- где $R_{\text{пов}}$ - термическое сопротивление теплопередаче поверхностных слоев тела животного, зависящее от толщины кожи и подкожного жирового слоя ($\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$);
- $t_{\text{ж}}$ - температура внутри тела животного, °C ;
- $t_{\text{к.св}}$ - температура на теплоотдающей поверхности кожного покрова свободной части площади поверхности тела, участвующей лишь в конвективном и лучистом теплообмене, °C ;
- $t_{\text{к.конт}}$ - температура на теплоотдающей поверхности кожного покрова части площади поверхности тела, участвующей в кондуктивном теплообмене с напольным обогревателем, °C ;
- $\vartheta_{\text{инл} \rightarrow \text{ж}}$ - лучистый тепловой поток ИК-излучателя, падающий на животное, Вт ;
- $t_{\text{п}}$ - температура теплоотдающей поверхности напольного обогревателя, °C ;
- L_1, L_2 - координаты границ контакта тела животного с напольным обогревателем, м ;
- $q_{\text{п}}$ - удельный тепловой поток от напольного обогревателя, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{ж.конт}}$ - удельные теплопотери животного в контактной зоне, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{п.к}}, q_{\text{п.л}}$ - удельные конвективный и лучистый тепловые потоки с нижней поверхности обогревателя, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{инл} \rightarrow \text{п}}$ - удельный лучистый тепловой поток ИК-излучателя падающий на поверхность обогревателя свободную от животных, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
- $q_{\text{п.к}}^{\text{в}}, q_{\text{п.л}}^{\text{в}}$ - удельные конвективный и лучистый тепловые потоки с верхней теплоотдающей поверхности напольного обогревателя, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Приведенная система уравнений, также как и система уравнений, описывающая теплообмен животного с ЭНУ, не имеет точного аналитического решения и решается только численно на ЭВМ.

Основная цель применения математических методов оптимизации состоит в том, чтобы осуществить вычислительный процесс наиболее эффективным способом с учетом инженерной специфики поставленной задачи и возможностей используемых ЭВМ.

Выбор метода оптимизации указанной задачи как и в любом другом случае определяется ее классификацией. Данная задача является детерминированной, так как подлежащий оптимизации критерий (целевая функция) детерминированная (неслучайная) функция оптимизируемых параметров. При этом на решение задачи наложены ограничения, поэтому она является задачей условной оптимизации.

Сложность задачи в значительной мере определяется видом критерия эффективности. Поскольку критерий эффективности определяется в неявной форме нелинейными выражениями, описывающими зависимость критерия эффективности от оптимизируемых параметров, то очевидно, что задача относится к области задач нелинейного программирования с несколькими переменными.

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать детерминированные методы поиска нулевого порядка, сводя исходную задачу нелинейного программирования с ограничениями к последовательности задач безусловной оптимизации. Методы поиска нулевого порядка не требуют регулярности или непрерывности целевой функции и существования ее производных. Для сведения исходной задачи с ограничениями к задаче без ограничений можно воспользоваться универсальным и простым методом внешних штрафных функций, относящихся к группе непрямых методов. Он позволяет преобразовать задачу условной оптимизации в последовательность задач безусловной оптимизации некоторой вспомогательной функции. Последняя получается путем модернизации целевой функции с помощью функций ограничений таким образом, чтобы ограничения в явном виде в задаче оптимизации не фигурировали.

В общем случае вспомогательная функция имеет вид

$$F(x, \alpha) = f(x) + \Phi(x, \alpha), \quad (24)$$

где $f(x)$ - целевая функция задачи;
 $\Phi(x, \alpha)$ - внешняя штрафная функция;
 α - параметр ($\alpha > 0$).

Функцию $\Phi(x, \alpha)$ выбирают такой, что ее значение равно нулю внутри и на границе некоторой допустимой области оптимизируемых параметров, а вне ее - положительна и возрастает тем больше, чем сильнее нарушаются ограничения, "штрафуя" при этом удаление от допустимой области.

Внешнюю штрафную функцию можно записать в виде

$$\Phi(x, \alpha) = \alpha [\varphi(x) - \psi(x)], \quad (25)$$

где $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ - функции, определяемые соответственно ограничениями (2), (3) исходной задачи.

Здесь

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } |\theta_{ж} - \theta_{ж.опт}| - \epsilon \leq 0; \\ |\theta_{ж} - \theta_{ж.опт}| - \epsilon, & \text{если } |\theta_{ж} - \theta_{ж.опт}| - \epsilon > 0, \end{cases} \quad (26)$$

$$\psi(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } \left| \frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} \right| - \xi \leq 0; \\ \left| \frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} \right| - \xi, & \text{если } \left| \frac{\theta_{ж.св}}{\theta_{ж.конт}} - \frac{F_{ж.св}}{F_{ж.конт}} \right| - \xi > 0, \end{cases} \quad (27)$$

где ϵ и ξ - некоторые малые величины, характеризующие точность выполнения ограничений.

Вспомогательная функция $F(x, \alpha)$ при этом будет иметь вид

$$F(x, \alpha) = \theta p(x) + \alpha [\varphi(x) + \psi(x)]. \quad (28)$$

При решении задачи безусловной минимизации функции (28) на ЭВМ были использованы методы безусловной оптимизации, имеющиеся в математическом обеспечении машины, в частности, методы поординатного спуска, вращающихся координат (Розенброка) и метод сопряженных направлений (Пауэлла). Все перечисленные методы оказались приемлимыми для решения поставленной задачи, однако, наиболее эффективным с точки зрения использования машинного времени оказался метод Пауэлла. Этот метод использует свойство квадратичной функции, заключающееся в том, что любая прямая, которая проходит через точку минимума оптимизируемой функции, пересекает под равными углами касательные к поверхностям разного уровня функции в точках пересечения.

В качестве объекта для проведения оптимизационных расчетов принято помещение для проведения опоросов на 30 станкомест сви-нарника-маточника по типовому проекту 802-3-I.

Расчеты выполнены на ЭВМ при содержании поросят-сосунов с продолжительностью подсосного периода до 28 дней для переходного и зимнего периода при изменении температуры наружного воздуха от 10 °С до -30 °С.

Анализ результатов расчета целевой функции и ее составляющих в зависимости от возраста поросят, соответственно, для комбинированного, инфракрасного и напольного обогрева для температуры наружного воздуха -20 °С, показывает, что оптимальные значения температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ при этом составили: для комбинированного обогрева 11 °С, для инфракрасного - 12 °С, для напольного - 22 °С.

Возможность снижения температуры воздуха при комбинированном обогреве до 11 °С позволяет получить наименьшее значение мощности энергетической системы свинарника-маточника несмотря на то, что суммарная мощность источников местного обогрева в этом случае значительно выше мощности источников при одностороннем обогреве. При этом мощность источников местного обогрева с возрастом снижается в связи с увеличением теплопродукции организма поросят и снижения их потребности в теплоступлении извне. Вместе с тем, с ростом молодняка увеличивается кратность воздухообмена, что влечет за собой увеличение энергозатрат на подогрев приточного воздуха, в результате чего снижение мощности системы за обогреваемый период не происходит.

Анализируя также изменение, в зависимости от возраста животных, оптимальных значений энергетических параметров теплоисточников установки местного обогрева при их совместном включении (комбинированный обогрев) и в случае одностороннего использования при отключении панели (ИК-обогрев) или ИК-излучателя (напольный обогрев) несходимо отметить, что в случае комбинированного обогрева выполняются оба условия комфортности (2), (3) на протяжении всего обогреваемого периода. При ИК-обогреве в первые три дня обогреваемого периода основное условие ком-

фортности нарушается, при этом суммарные теплопотери животного $\Theta_{ж}$ превышают его оптимальные значения $\Theta_{ж.опт}$ вследствие превышения допустимых теплопотерь в зоне контакта с напольным обогревателем, среднее значение температуры которого не превышает 26°C .

Что касается напольного обогревателя, то здесь обеспечить оптимальный уровень теплопотерь поросят не удастся на протяжении всего обогреваемого периода, хотя величина ограничений, характеризующая выполнение основного условия комфорта с возрастом снижается. Температура напольного обогревателя при этом подерживается максимально допустимой по дополнительному условию комфорта (3), но исключая при этом возможность местного перегрева животного, тем не менее, теплопотери со свободной поверхности тела несмотря на увеличение температуры воздуха $t_{в}$ до 21°C значительно превышают допустимое значение теплопотерь $\Theta_{ж.опт}$.

Исследование зависимости общего расхода энергии Θ_p в зависимости от изменения температуры наружного воздуха t_n показывает, что с увеличением t_n потребляемая мощность энергосистемы свинарника-маточника резко падает независимо от вида местного обогрева, однако при $t_n > -11^{\circ}\text{C}$ эффективность совместного использования ИК-излучателей и напольных обогревателей, вследствие изменения энергетических соотношений составляющих теплового баланса Θ_p , снижается, а при $t_n > 1^{\circ}\text{C}$ комбинированный обогрев становится неэффективным. Достаточно в этом случае наладить оптимальный режим работы системы общего отопления и вентиляции только с инфракрасным облучателем, обеспечив при этом теплоизоляцию животных от пола, эквивалентную электрообогреваемой панели ЛЮ в отключенном состоянии.

Л и т е р а т у р а

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. - М.: Высшая школа, 1982.
2. Волощик П.Н., Дмитриева Н.М. Создание микроклимата в свинарниках-маточниках. - М.: Московский рабочий, 1971.

3. Герасимович Л.С. Разработка научно-технических основ низко-температурного поверхностно-распределенного электронагрева в сельском хозяйстве. Автореф. дис. ... докт.техн.наук. - Челябинск, 1982.
4. Кориченко И.А. Возрастные изменения энергетического обмена и терморегуляции. - М.: Наука, 1979.
5. Кудрявцев А.А. Методы исследования газового и энергетического обмена у сельскохозяйственных животных. - М.: Сельхозгиз, 1951.
6. Методические рекомендации по оптимизации методов снижения энергоемкости обеспечения микроклимата животноводческих помещений. - Запорожье: ЦНИПТИМЭЖ, 1979.
7. Никитченко И.Н., Гильман Э.Д. Справочник по свиноводству. - Мн.: Ураджай, 1984.
8. Отопление и вентиляция, Ч. I/И.Н.Каменев, А.Н.Сканави, И.Р.Богословский и др. - М.: Стройиздат, 1975.
9. Петрухин И.В. Биологические основы выращивания поросят. - М.: Россельхозиздат, 1970.
10. Плященко С.И., Хохлова И.И. Микроклимат и продуктивность животных. - Л.: Колос, 1976.
11. Растишин С.А. Обоснование параметров и разработка установок локального электрообогрева ягнят. Автореф. дис. ... канд. техн.наук. - М.: ВИЭСХ, 1985.
12. Славин Р.М., Быстрицкий Д.Н., Афанасьев Д.Е. Методика расчета параметров и режимов автоматических электронагревателей для цыплят. - М.: ВИЭСХ, 1968.

УДК 621.371:621.311.001

В.И.Русан, доктор технических наук

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АПК

Энергетическая ситуация в Республике Беларусь характеризуется новыми геополитическими и энергоэкономическими условиями, изменением внешних экономических отношений после распада СССР, недостаточными ресурсами углеводородного топлива (нефть, газ, уголь), а также неадекватным использованием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), высокой энергоемкостью сельскохозяйственной продукции и низкой надежностью энергообеспечения потре-