

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ МИКРОКЛИМАТА В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В статье приведено решение некоторой части проблемы энергосбережения в условиях дефицита энергоресурсов путем использования автоматизированной информационной системы управления микроклиматом. Разработана информационная система регулирования микроклимата, обеспечивающая минимум затрат на управление им.

Ключевые слова: тепловой баланс, микроклимат, имитационная модель, энергосберегающий эффект.

E.I. Zaitseva, P.P. Dolgikh

THE METHODS OF THE MICROCLIMATE OPTIMIZATION IN LIVESTOCK BUILDINGS

The solution for some part of the energy saving problem in the conditions of the energy resources shortage through the use of the automated microclimate control information system is presented in the article. The microclimate control information system providing the minimum expenses on the microclimate control is developed.

Key words: thermal balance, microclimate, simulation model, energy-saving effect.

Введение. Дальнейшее развитие сельскохозяйственной техники будет характеризоваться еще более интенсивным использованием средств и методов автоматизации, информатизации и робототехнических комплексов, в связи с тем, что мировой уровень механизации основных процессов в полеводстве и животноводстве приближается к 100 %.

Целью моделирования является построение модели режимов работы климатических установок в животноводческих помещениях для снижения энергозатрат.

Анализ показал, что в настоящее время разработаны различные энергосберегающие методы и оборудование, средства для их реализации при обеспечении оптимального микроклимата на фермах крупного рогатого скота. Часть этого оборудования требует совершенствования и проверки эффективности использования в практических условиях [1].

Однако внедрение энергосберегающих методов и оборудования сдерживается отсутствием программного продукта, который бы обеспечивал управление микроклиматом при помощи вычислительной и микропроцессорной техники.

Целью проведения расчета тепловлажностного баланса животноводческого помещения с системой обеспечения микроклимата на базе утилизации теплоты выбросного воздуха является определение дополнительного количества теплоты на обеспечение требуемых параметров микроклимата при определенных объемно-планировочных и конструктивных решениях с учетом тепловозврата от теплоутилизационных установок [2].

Потребность в дополнительном количестве потока теплоты определяется по формуле

$$Q_{\text{доп}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{и}} + Q_{\text{ж}}^{\text{св}}. \quad (1)$$

Теплопотери помещением через ограждения определенного варианта объемно-планировочного и конструктивного решения рассчитываются по формуле

$$Q_{\text{огр}} = \sum \frac{n \cdot F_{\text{ТС}}}{R_{\text{отс}}^{\text{пп}}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = \left(\frac{n_{\text{ПС}} \cdot F_{\text{ПС}}}{R_{\text{опс}}^{\text{пп}}} + \frac{n_{\text{ЛОК}} \cdot F_{\text{ЛОК}}}{R_{\text{олок}}^{\text{пп}}} + \frac{n_{\text{ОК}} \cdot F_{\text{ОК}}}{R_{\text{оок}}^{\text{пп}}} + \frac{n_{\text{В}} \cdot F_{\text{В}}}{R_{\text{ов}}^{\text{пп}}} + \frac{F_{\text{ПОЛ}}}{R_{\text{опол}}^{\text{пп}}} \right) \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}). \quad (2)$$

При этом теплопотери с инфильтрацией не учитываются.

Теплопотери на испарение влаги с открытой водной и смоченной поверхностями с учетом технологии содержания животных и планировочных решений животноводческого помещения определяются по формуле

$$Q_{И} = 0,68 \cdot W_{И} = 0,68(\omega_{CM}F_{CM} + \omega_{ОТКР}F_{ОТКР}), \quad (3)$$

где 0,68 – скрытая теплота испарения, Вт·ч/г.

Количество влаги, испаряющейся с открытых водных и смоченных поверхностей, определяется в зависимости от технологии навозоудаления [2]:

- при беспривязном содержании и периодической уборке навоза

$$W_{И} = (F_{НЖ} + F_{П}) \cdot \omega_{ОТКР} = (F_{НЖ} + F_{П}) \cdot 10^{(2,127+0,0269t_B)} \cdot (1 - \varphi_B); \quad (4)$$

- при содержании животных на решетчатых полах

$$\begin{aligned} W_{П} &= \omega_K \cdot F_K + \omega_{П} \cdot F_{П} = \\ &= F_K \cdot (23,75 + 1,486t_B + 0,025t_B^2) \cdot (1 - \varphi_B) + F_{П} \cdot 10^{(2,127+0,0269t_B)} \cdot (1 - \varphi_B); \end{aligned} \quad (5)$$

- при привязном содержании и механической уборке навоза

$$W_{П} = \omega_{CM} \cdot F_{CM} + \omega_{П} \cdot F_{П} = F_{CM} \cdot (30 + 2,2t_B) \cdot (1 - \varphi_B) + F_{М} \cdot 10^{(2,127+0,0269t_B)} \cdot (1 - \varphi_B). \quad (6)$$

Теплопотери помещения с вентиляционным воздухом определяются с учетом тепловозврата утилизаторами по формуле

$$Q_B = Q_{ПР} - Q_{УТ} = [0,278 \cdot G_{ПР} \cdot (t_B - t_H) - q_{УТ} \cdot Z_{УТ}]. \quad (7)$$

Требуемое количество приточного воздуха определяется из условия удаления избытков влаги

$$G_{ПР} = (W_{Ж} + W_{И}) \cdot (d_B - d_H). \quad (8)$$

Количество водяных паров, выделяемых животными при дыхании, определяется в соответствии с видом и возрастом животных и с учетом расчетной температуры в помещении по формуле

$$W_{Ж} = m_{Ж} \cdot \omega_{Ж} \cdot K_{ЖВ}, \quad (9)$$

где $\omega_{Ж}$ – для телят и молодняка при интенсивном откорме определяется по формуле

$$\omega_{Ж} = 0,78P_{Ж} + 7,56t_B - 0,005P_{Ж}t_B - 36. \quad (10)$$

Для остального поголовья крупного рогатого скота $\omega_{Ж}$ определяется по [2].

$K_{ЖВ}$ – определяется по [2] для крупного рогатого скота и свиней соответственно.

Количество свободного потока теплоты, выделяемое животными, определяется в зависимости от вида, возраста и расчетной температуры внутреннего воздуха

$$Q_{Ж}^{CB} = m_{Ж} \cdot q_{Ж}^{CB} \cdot K_{ЖТ}, \quad (11)$$

где $q_{Ж}^{CB}$ – для телят и молодняка при интенсивном откорме определяется по формуле

$$q_{Ж}^{CB} = 1,26P_{Ж} - 2,9t_B - 0,02P_{Ж}t_B + 121. \quad (12)$$

Для остального поголовья крупного рогатого скота определяется по [2].

$K_{жв}$ – определяется по [2] для крупного рогатого скота и свиней соответственно.

Тепловозврат от теплоутилизационных установок определяется в зависимости от типа теплоутилизатора и его теплотехнических характеристик при различных температурно-влажностных условиях первичного и вторичного теплоносителей и определяется по формуле

$$Q_{yT} = q_{yT} Z_{yT} = f(t_{H_1}, t_B, \varphi_B), \quad (13)$$

$$\text{где } q_{yT} = A_{yT} \cdot \Delta t_{yT} = A_{yT} \cdot (t_B - t_{H_{yT}}). \quad (14)$$

Минимально требуемое количество теплоутилизаторов для конкретного помещения определяется в зависимости от вида теплоутилизаторов и требуемого воздухообмена при максимальной расчетной температуре наружного воздуха для отопительного периода (в соответствии с расчетом тепловоздушного баланса) по выражениям:

- при $G_{yT} > 4,0$ тыс.м³/ч

$$Z_{yT} = \frac{G_{пp}}{G_{yT}} + 0,7 - \text{целое число}; \quad (15)$$

- при $G_{yT} \leq 4,0$ тыс.м³/ч

$$Z_{yT} = \frac{G_{пp}}{G_{yT}} + 1 - \text{целое число}. \quad (16)$$

С учетом выбранного количества утилизаторов корректируется расчетный максимальный воздухообмен

$$G_{BP} = G_{yT} \cdot Z_{yT}^{max}. \quad (17)$$

При понижении температуры наружного воздуха ниже расчетной может быть уменьшено количество работающих утилизаторов либо снижена воздухоподача регулируемых приточных вентиляторов теплоутилизационных установок.

При уменьшении воздухоподачи приточных вентиляторов теплоутилизационных установок в животноводческих помещениях должен обеспечиваться воздушный баланс по притоку и вытяжке за счет применения рециркуляции выбросного воздуха, прошедшего тепловую обработку в утилизаторе.

Потребность в дополнительном тепле может быть реализована с помощью воздухоподогревателей (водяных или электрокалориферов), встроенных в конструкцию теплоутилизаторов, либо с помощью предусматриваемых тепловентиляционных установок, работающих на рециркуляционном воздухе, либо с помощью приборов местного отопления (регистров, электроконвекторов и других нагревательных приборов).

Окончательный выбор тепловентиляционного оборудования для системы обеспечения микроклимата (СОМ) с утилизацией теплоты выбросного воздуха должен производиться на основе результатов вариантных расчетов тепловлажностных балансов с учетом различной степени утепления зданий и его отдельных элементов, эффективности теплоутилизаторов различного типа, мощности и эффективности средств дополнительного подогрева.

Расчет теплового баланса показывает, что в итоге необходимо выбрать тип и количество оборудования для животноводческого комплекса с учетом всех потерь. Облегчить вопросы реализации энергоэффективных режимов может информационная система по расчету и выбору системы обеспечения микроклимата для животноводческого помещения, напрямую работающая с частотно-регулируемым электроприводом.

В процессе проектирования было выделено несколько функционально-однородных модулей, которые позволяют, в свою очередь, выделить множество отдельных операций, которые целесообразно объединить по функционально-однородному признаку в несколько подсистем.

Разработанная информационная система включает следующие модули (подсистемы):

а) справочник «Теплоутилизаторы»;

- б) диаграммы;
- в) расчет теплопотерь через ограждение, на испарение влаги, с вентиляцией; количества теплоты, выделяемой животными;
- г) ввод-вывод данных;
- д) расчет энергопотребления;
- е) формирование отчета;
- ж) справка.

Каждая подсистема отвечает за выполнение конкретных задач. Приводится описание подсистем и задач, которые они выполняют.

Разработанная информационная система решает ряд вышеописанных задач, которые объединены в подсистемы: справочники, диаграммы, расчеты [3].

Обычно применяемый метод расчета теплового баланса исходит из основных заданий (расчет теплопотерь, тепловозврат от теплоутилизационных установок, вид теплоутилизатора, требуемый воздухообмен в помещении) и использует ряд величин и формул из практики проектирования систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений.

Допустим, в автоматизированную информационную систему поступили сведения об изменении температуры внутреннего воздуха в животноводческом помещении. Открываем рабочую форму, переходим по вкладке «Температура» и вносим данные о поступившем изменении. На рисунке 1 представлена рабочая форма «Расчет».

Возраст поголовья КРС: До 6 месяцев

Площади

стен	300
покрытия технологического помещения	1450
окон	156
торцевых стен	166
двухметровой зоны пола	280
смяченной поверхности пола	279
водной поверхности поилок	3.94
ворот	9

Температуры

температура воздуха наиб. холодных суток	-25
расчетная температура внутреннего воздуха	15

Количество влаги

количество влаги, испаряющейся с 1 м2 поверхности смяченного пола, определяется по данным справочника, график А.2	13
количество влаги, испаряющейся с поверхности поилок, определяется по данным справочника, график А.1	75

Внутренняя поверхность стен: Мрамор

Внутренняя поверхность покрытий: Бетон

Ширина помещений: 42

Вес животного: 500

Вместимость: 200

Ограждающие конструкции стен

Материал	Стены из кирпича 1
Толщина	0.72

Ограждающие конструкции покрытий

Материал	Плиты теплоизоляция
Толщина	0.13

Теплоутилизаторы

Тип	УТП-3
-----	-------

Кнопки: Расчет, Справочник, Сохранить в базу данных, Построить график, Отчет

Расчеты

Теплопотери при испарении с открытых водных и смяченных поверхностей	2667.3 Вт	Требуемое минимальное количество утилизаторов	5
Требуемое термическое сопротивление конструкции стен	1.32 м2°С/Вт	Фактический расчетный воздухообмен помещения	100600 Вт
Требуемое термическое сопротивление конструкции покрытий	3.07 м2°С/Вт	Теплопотери с приточным воздухом	99560 Вт
Теплопотери помещением через ограждения	44745.42 Вт	Свободные тепловыделения животных	128894 Вт
Теплопотери с вентиляционным воздухом	18811.49 кг/ч	Потребность в дополнительном количестве теплоты	-18078.72 Вт
		Недостаток	

Рис. 1. Рабочая форма «Расчет»

После проведения расчета необходимо обратиться к кнопке «Сохранить в базу данных».

Рабочая форма предполагает проведение расчета теплового баланса помещения при использовании различных материалов для внутренней поверхности стен и покрытий при различной геометрии здания (рис. 2).

Возраст поголовья КРС: Взрослое поголовье

Площади

стен	300
покрытия технологического помещения	1450
окон	156
торцевых стен	166
двухметровой зоны пола	280
смоченной поверхности пола	279
водной поверхности поилок	3.34
ворот	9

Температуры

температура воздуха наиб. холодных суток	-25
расчетная температура внутреннего воздуха	10

Количество влаги

количество влаги, испаряющейся с 1 м ² поверхности смоченного пола, определяется по данным справочника, график А.2	13
количество влаги, испаряющейся с поверхности поилок, определяется по данным справочника, график А.1	75

Внутренняя поверхность стен: Бетон

Внутренняя поверхность покрытий: Бетон / Мрамор

Ширина помещений: 21

Вес животного: 500

Вместимость: 200

Ограждающие конструкции стен

Материал	Стены из кирпича
Толщина	0.72

Ограждающие конструкции покрытий

Материал	Плиты теплоизоляции
Толщина	0.13

Теплоутилизаторы

Тип	УТП-3
-----	-------

Расчет | Справочник | Сохранить в базу данных | Построить график

Расчеты

Теплопотери при испарении с открытых водных и смоченных поверхностей	2667.3 Вт	Требуемое минимальное количество утилизаторов	5
Требуемое термическое сопротивление конструкции стен	1.147 м ² С/Вт	Фактический расчетный воздухообмен помещения	88025 Вт
Требуемое термическое сопротивление конструкции покрытий	3.144 м ² С/Вт	Теплопотери с приточным воздухом	87115 Вт
Теплопотери помещением через ограждения	45614.617 Вт	Свободные тепловыделения животных	143806.4 Вт
Теплопотери с вентиляционным воздухом	17005.386 кг/ч	Потребность в дополнительном количестве теплоты	8409.483 Вт
		Избыток	

Рис. 2. Выбор используемого материала

Аналогичным образом осуществляется построение диаграмм и графиков. Следует также отметить, что в подсистеме «Диаграммы» решается такая задача, как построение графиков зависимости испарения влаги с открытых поверхностей и графиков зависимости удельных влаговыделений от температуры воздуха. На рисунке 3 приведена рабочая форма «Диаграмма».

Справочник

Количество влаги

График А.1: График зависимости испарения влаги с открытых водных поверхностей и поверхностей поилок

График А.2: График зависимости удельных влаговыделений от температуры воздуха в помещении при испарении влаги со смоченных поверхностей пола

Типы теплоутилизаторов

Подробно: Техничко-экономическая характеристика теплоутилизаторов

Рис. 3. Рабочая форма «Диаграмма»

Кратко опишем процедуру построения диаграммы по исходным температурным параметрам. Процедура обращается к рабочей форме «Расчет» и отыскивает параметры для конкретного зда-

ния и «запоминает» их. Далее возвращается в таблицу «Расчеты» и затем в поле «Построить диаграмму/график» строит диаграмму для конкретного расчета.

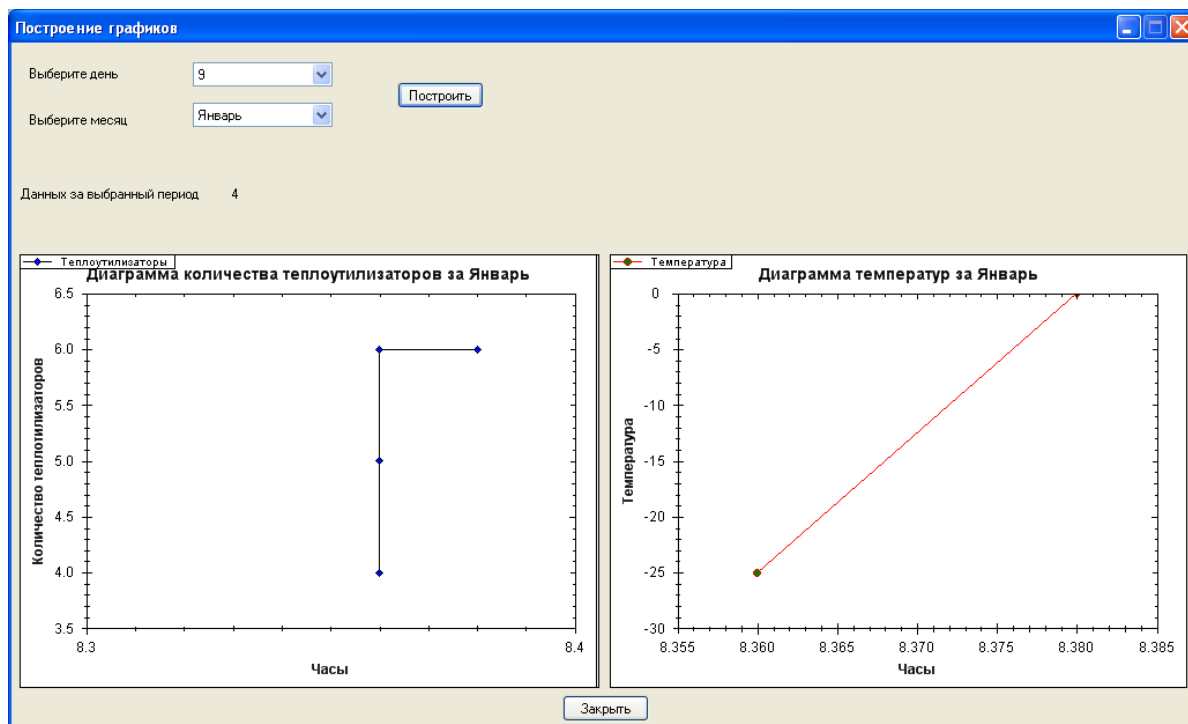


Рис. 4. Построение диаграммы количества теплоутилизаторов и изменения внутренних температур в помещении

Итак, были рассмотрены примеры основных расчётных программ созданной информационной системы.

На основании физических взаимосвязей составлена адекватная математическая модель регулирования микроклимата в животноводческих помещениях.

На основании этой модели разработано программное приложение [3] для имитации регулирования систем микроклимата и выработки управляющих воздействий, поддерживающих температуру и влажность воздуха в животноводческом помещении на оптимальном уровне.

Литература

1. Мишуров Н.П., Кузьмина Т.Н. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих комплексах // Научный аналитический обзор. – М., 2004. – 94 с.
2. Виноградов П.Н., Шевченко С.С., Расстригин В.Н. Рекомендации по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений с утилизацией теплоты выбросного воздуха. – М., 2004. – 32 с.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014614825. – Моделирование энергоэффективных режимов работы климатического оборудования в животноводческих помещениях / Зайцева Е.И., Гузев С.А., Долгих П.П. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 мая 2014 г.

