

Тема 6: Расчёт теплового баланса в животноводческих помещениях

Цель занятия. Освоить методику расчёта теплового баланса в животноводческих помещениях.

Общие сведения. Определение часового объёма вентиляции - это только одна сторона эффективной вентиляции, так как только в том случае можно создать условия оптимального воздушного режима в помещениях, если будет обеспечено правильное сочетание воздухообмена и температурного режима.

Для того чтобы определить количество тепла, необходимого для поддержания температуры при найденном воздухообмене, производится расчёт теплового баланса помещения.

Тепловым балансом помещения называется разница между количеством тепла, поступающим в помещение, и теплом, теряемым из него.

В неотапливаемых помещениях приход тепла определяется теплопродукцией размещенных в них животных.

В отапливаемых помещениях к теплопродукции животных прибавляется тепло, выделяемое отопительными системами.

Расход тепла в помещении для животных складывается:

- 1) из тепла, которое идет на обогрев вентилируемого воздуха;
- 2) из тепла, которое теряется через ограждающие конструкции и в атмосферу;
- 3) тепла, идущего на испарение влаги с поверхности ограждающих конструкций.

Расчет теплового баланса производится исходя из данных температуры и влажности самого холодного месяца года, обычно января, по формуле:

$Q_{ж} = Q_{вент.} + Q_{зд.} + W_{исп.} = \Delta t [(V \times 0,31) + (\sum K \times S)] + W_{зд.}$ где $Q_{ж.}$ - тепло (в ккал), выделяемое животными за час;

$Q_{вент.}$ - тепло, затрачиваемое на обогрев вентилируемого (поступающего извне) воздуха, ккал; $Q_{зд.}$ - тепло, теряемое через ограждающие конструкции, ккал;

$W_{исп.}$ - тепло, расходуемое на испарение влаги с поверхности ограждающих конструкций;

Δt - разность между температурой воздуха внутри помещения и наружного воздуха (по январю месяцу), °C; V - часовой объем вентиляции по углекислому газу или влажности, м³/ч;

0,31 - тепло (в ккал), затраченное на обогрев 1 м³ воздуха, вводимого при вентиляции, на 1 °C, ккал/м³/град; K — коэффициент общей теплопередачи через ограждающие конструкции, ккал/час/м²/град.;

S - площадь ограждающих конструкций. Задание № 1.

Рассчитать тепловой баланс по январю для запроектированного в районе Самары коровника на 200 полов привязного содержания. Размер коровника 72х21х3,2 м. Стены наружные - железобетонные панели толщиной 160 мм, перекрытие - деревянные щиты с утеплителем из шлаковаты, кровля мягкая рулонная на битумной мастике, пол асфальтовый по бетонной подготовке, окна - деревянные, рамы с двойным переплетом, ворота - дощатые двойные.

В коровнике 68 окон, размер 1,0x0,8 м каждого. Размер ворот 2,4 X 2,2 м.

В коровнике размещено: 40 коров стельных сухостойных со средней живой массой 600 кг, 70 коров дойных со средней живой массой 560 кг и суточным удоем 18 кг и 90 коров со средней живой массой 500 кг и суточным удоем 15 кг.

Задание № 2.

Рассчитать тепловой баланс (по январю) свиарника-откормочника на 2000 голов размером 90x21x2,4 м. Стены наружные - кладка из силикатного кирпича, толщина 77 см; перекрытие - железобетонные плиты; покрытие - мягкая кровля на битумной мастике; окна - деревянные, рамы с двойным переплетом; ворота и двери - дощатые двойные. В свиарнике 82 окна, размером 1x0,8 м каждое и четверо ворот (размер одних ворот 3,2x2,4 м).

В свиарнике размещено: 200 голов со средней живой массой 80 кг, 300 голов - 90 кг, 500 голов - 95 кг и 1000 голов со средней живой массой 100 кг.

Расчет теплового баланса животноводческих помещений

Для создания оптимального температурно-влажностного режима в помещении необходим значительный обмен воздуха. Однако его трудно поддерживать на оптимальном уровне, особенно в холодный период года. Правильно решить вопросы оптимизации микроклимата в каждом конкретном помещении помогает расчет его теплового баланса еще на стадии проектирования, а затем строительства и эксплуатации помещения.

В неотапливаемых помещениях тепловой баланс помогает скорректировать расчеты объема воздухообмена, предвидеть необходимость утепления помещения, регулирования вентиляции. Расчеты теплового баланса помогают также выявить теплотехнические качества отдельных ограждающих конструкций, сделать по ним правильные расчеты, выбрать нужные обогревательные установки, рассчитать их количество. Иными словами, температурно-влажностный режим, его оптимизация закладываются на стадии проектирования, а затем и строительства помещения из расчета планового поголовья животных (берутся усредненные показатели живой массы, продуктивности, характерные для данной породы и физиологического состояния).

Охлаждение воздуха в помещении зависит от общей площади поверхности ограждающих конструкций здания, качества строительных материалов, толщины стен и покрытий, разности температур атмосферного воздуха и воздуха помещения, расположения здания по отношению к сторонам света, количества холодного воздуха, подаваемого в помещение.

Для расчета теплового баланса помещения необходимо знать величину поступления тепла от самих животных (свободное тепло) и от источников искусственного обогрева, величину расхода тепла помещением, теплопотери на нагревание холодного вентиляционного воздуха, через ограждающие конструкции и на испарение влаги с ограждающих конструкций внутри помещения. Поступление тепла в помещение определяют количеством,

выделяемым животными, отопительными приборами, электрооборудованием, светильниками, а в летний период и от солнечной радиации.

Таким образом, расход тепла определяют его затратами на подогрев вентиляционного воздуха, обогрев и потери через конструкции здания, на испарение влаги и т. д.

Тепловой баланс помещения рассчитывают по формуле

$$Q_{\text{жс}} = \Delta t (G \cdot 0,24 + \sum KF) + W_{\text{зд}},$$

где $Q_{\text{жс}}$ - поступление тепла от животных, ккал/ч (см. прил. 16);

Δt - разность между оптимальной температурой воздуха в помещении и среднемесячной температурой воздуха самого холодного месяца, °С;

G - количество воздуха, удаляемого из помещения или поступающего в него в течение 1 ч, кг (рассчитывается в соответствии с прил. 20);

0,24 - количество тепла, необходимое для нагрева 1 кг воздуха на 1°С, ккал/кг;

K - коэффициент общей теплопередачи через ограждающие конструкции, кг/м²/град. (прил. 21-24);

F - площадь ограждающих конструкций, м²;

$\sum$ - показатель суммирования произведений KF ;

$W_{\text{зд}}$ - расход тепла на испарение влаги с поверхности пола и других ограждений, ккал/ч.

П р и м е р. Зона Северного Кавказа. Температура воздуха внутри коровника 10°С, относительная влажность 70%. Температура наружного воздуха -5°С. Среднее барометрическое давление 760 мм рт. ст. Внутренняя длина помещения 71,5 м, ширина 20,5 м, высота 4,25 м. Стены оштукатурены изнутри, толщина стен 51 см. В помещении 200 коров, из них 170 лактирующих с удоем 10 кг в сутки и живой массой 600 кг, и 30 сухостойных с такой же живой массой. В помещении 8 окон 2,1х1,2 м и 37 размером 1,8х1,2 м с одинарным переплетом и одинарным остеклением. Двое ворот (двойных) размером 2,1х2,4 м, четверо ворот (двойных) размером 3х3 м и три двери (двойные) размером 1,2х2,1 м.

Р а с ч е т.

1. *Определение поступления тепла в помещение.* Одна корова живой массой 600 кг с удоем 10 кг выделяет свободного тепла 757 ккал/ч (см. прил. 16), а 170 коров выделяют 128620 ккал/ч (170х757). Одна сухостойная корова той же живой массы выделяет 733 ккал/ч (см. прил. 16), а 30 коров 21990 ккал/ч (30х733). Следовательно, от всех животных в помещение поступит свободного тепла ($Q_{\text{жс}}$) 150610 ккал/ч (128620+21990).

Приход тепла от солнечной радиации в зимний период не учитывается, а от других источников (электромоторы, электролампы и т. п.) незначителен, поэтому в расчет не принимается.

2. *Расход тепла в помещении* определяют по формуле $\Delta t (G \cdot 0,24 + \sum KF) + W_{\text{зд}}$. Отсюда теплотери на обогрев вентиляционного воздуха составляют $\Delta t (G \cdot 0,24)$.

Для расчета необходимо знать часовой объем вентиляции (см. расчет вентиляции):

$$L_{H_2O} = \frac{Q + R}{q_1 - q_2} = \frac{100520 + 10052}{6,42 - 2,9} = 31412,5 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При определении массы 1 м³ воздуха пользуются приложением 20. При температуре воздуха в коровнике 10°C и среднем барометрическом давлении 755 мм рт. ст. масса 1 м³ воздуха составляет 1,239 кг. Следовательно, масса всего вентиляционного воздуха (G) будет равна 38920,1 кг (31412,5·1,239). Если для нагрева 1 кг воздуха на 1°C требуется 0,24 ккал, то для нагрева всего воздуха потребуется 9340,8 ккал/ч (38920,1·0,24), а для нагрева его от -5°C до 10°C ($\Delta t = 15^\circ\text{C}$) будет затрачено 140112,0 ккал/ч (9340,8·15).

Значение коэффициента теплопередачи (K) для некоторых строительных ограждений приведено в приложениях 21-24.

Определим расход тепла на теплопередачу через ограждающие конструкции (табл. 1).

Таблица 1. Определение расхода тепла на теплопередачу через ограждающие конструкции

Вид ограждения				Δt	Теплопотери, ккал/ч
Пол	71,5х20,5=1465,75	0,2	293,15	15	4397,25
Потолок	71,5х20,5=1465,75	0,51	747,53	15	11212,95
Окна	1,2х1,2х8=11,52	5,0	57,60	15	864,00
	1,8х1,2х37=79,92	5,0	399,60	15	5994,00
Ворота (двойные)	2,1х2,4х2=10,08	2,0	20,16	15	302,40
	3х3х4=36,00	2,0	72,00	15	1080,00
Двери (двойные)	1,2х2,1х3=7,56	2,0	15,12	15	226,80
Стены	72,5х4,25х2+21,5х4,25х2=798,98	—	—	—	—
Стены (без учета окон и ворот)	798,98-(11,52+79,92+10,08+36+7,56)=653,9	1,1	719,29	15	10789,35
Итого	—	—	2324,45	15	34866,75

Следовательно, теплопередача через ограждающие конструкции при $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ составит 34866,75 ккал/ч.

Необходимо учесть также расположение здания в отношении направления господствующих ветров, сторон света и рельефа местности, так

как помещение теряет дополнительно за счет обдувания еще 13% тепла от теплопотерь ограждающих конструкций (стены, окна и ворота): $(10789,35+5994+864+302,4+1080) \cdot 0,13 = 2473,86$ ккал/ч.

Следовательно, общий расход тепла, необходимого на нагрев всех ограждающих конструкций коровника, будет равен 37340,6 ккал/ч $(34866,75+2473,86)$.

Кроме того, необходимо учесть потери тепла на испарение влаги с поверхности пола, кормушек и ограждающих конструкций ($W_{зд}$). При расчете часового объема вентиляции было установлено, что данная величина составляет 10052 г/ч.

Если учесть, что на испарение 1 г влаги затрачивается 0,595 ккал, то составит 5980,9 ккал/ч $(10052 \cdot 0,595)$.

Суммируем все теплопотери в помещении: на подогрев вентиляционного воздуха 140112,0 ккал/ч, на нагрев ограждающих конструкций 37340,6, на испарение влаги с поверхности пола, кормушек и ограждающих конструкций 5980,9, итого 183433,5 ккал/ч. Подставляем полученные данные в формулу и определяем тепловой баланс помещения. Все поступления тепла составляют 150610 ккал/ч, а его расход 183433,5 ккал/ч.

Расчет показывает, что расход тепла превышает тепlopоступление на 32823,5 ккал/ч, что свидетельствует об отрицательном тепловом балансе коровника.

Расчет нулевого теплового баланса. Определение нулевого теплового баланса животноводческого помещения необходимо для расчета предельно низкой внешней температуры воздуха, при которой еще возможна непрерывная эксплуатация вентиляции или отсутствие обогрева в помещении. нулевого баланса вычисляют по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{Q_{ис} - W_{зд}}{G \cdot 0,24 + \sum KF}$$

Подставляем ранее полученные данные в формулу:

$$\Delta t_0 = \frac{150610 - 5980,9}{38920,1 \cdot 0,24 + 2324,45} = \frac{144629,1}{11665,13} = 12,4^\circ \text{C}.$$

Итак, для непрерывной работы вентиляции разница между температурой воздуха в середине помещения и температурой атмосферного воздуха не должна превышать 12,4°C. Расчет нулевого теплового баланса показал, что для того, чтобы поддерживать температуру воздуха внутри помещения на уровне 10°C, температура наружного воздуха не должна опускаться ниже -2,4°C. А так как средняя температура в январе в принятой нами зоне равна -5°C, то при расчетной температура воздуха в помещении (коровнике) будет снижаться в отдельные периоды до 7,4°C $(12,4-5=7,4^\circ \text{C})$.

Приведенные расчеты показывают, что температура воздуха в коровнике зимой будет снижаться ниже принятой (10°C), а в отдельные периоды (при более значительном похолодании) и еще ниже. Такое снижение температуры воздуха в помещении повлечет за собой увеличение относительной влажности воздуха. Это подтверждается следующим расчетом.

Максимальное напряжение водяных паров при $7,4^{\circ}\text{C}$ составляет 7,7 мм рт. ст. Если принять, что при снижении температуры воздуха в помещении абсолютная влажность его остается на прежнем уровне (6,42 мм рт. ст.), то относительная влажность воздуха в коровнике при прежнем объеме вентиляции и при сниженной до $+7,4^{\circ}\text{C}$ температуре будет повышаться до $(6,42 \cdot 100) / 7,7 = 83,4\%$.

Если с целью уменьшения относительной влажности увеличить обмен воздуха в помещении, то при недостаточном количестве тепла невозможно будет поддерживать нормальный температурно-влажностный режим в нем, так как увеличение воздухообмена увеличит и расход тепла на его подогрев. При этом температура воздуха еще больше снизится и возрастет его относительная влажность. Поэтому сохранение нормального температурно-влажностного режима в помещении возможно при:

- обеспечении надежной работы системы канализации, позволяющей постоянно удалять лишнюю влагу;
- систематическом применении веществ, поглощающих влагу (сухая подстилка, известь-пушонка);
- обеспечении снижения общих потерь через внешние ограждения (низкий коэффициент общей теплопередачи материалов и конструкций).

Если в силу сложившихся обстоятельств обеспечить эти требования невозможно или экономически невыгодно (например, увеличение толщины стен и т. п.), то единственным выходом остается подогрев приточного воздуха. Для этого необходима установка вентиляционно-отопительного оборудования, предназначенного для систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений.

Задание 1. Помещение для содержания крупного рогатого скота (коровник). Внутренние размеры: $95 \times 20 \times 3$ м. Содержится: 250 коров лактирующих ж.м. 500 кг, удоем 10 кг; 120 коров лактирующих ж.м. 500 кг, удоем 15 кг. Стены деревянные рубленные толщиной 0,220 м. Потолок накатом по балкам из досок 5 см, глино-песчанная мазка 2 см, засыпной из опилок и земли 5 см, общей толщиной 0,27 м. Окон 80 шт., $2,0 \times 1,0$ с двойными переплетами, отдельно остекленные. Ворот 4, двойные, размером $2,8 \times 3,0$ м. Температура воздуха в помещении $+12^{\circ}\text{C}$, наружного -17°C . Относительная влажность воздуха в помещении 75%, атмосферное давление 756 мм.рт.ст. Рассчитать тепловой баланс и Δt нулевого теплового баланса помещения.

Задание 2. Помещение для содержания свиней. Внутренние размеры: $50 \times 22 \times 2,8$ м. Содержится 300 голов свиноматок подсосных с приплодом ж.м. 150 кг. Стены из дырчатого кирпича 0,525 м, на тяжелом растворе м. Потолок накатом по балкам из досок 5 см, глино-песчанная мазка 2 см, засыпной из опилок и земли 5 см, общей толщиной 0,27 м. Окон 32 шт., $1,8 \times 1,5$ с двойными переплетами, отдельно остекленные. Дверей 2, двойные, размером $2,2 \times 1,5$ м. Ворот 4, двойные, размером $2,8 \times 2,5$ м. Температура воздуха в помещении $+22^{\circ}\text{C}$, наружного -15°C . Относительная влажность воздуха в помещении 70%, атмосферное давление 758 мм.рт.ст. Рассчитать тепловой баланс и Δt нулевого теплового баланса помещения.

Контрольные вопросы.

1. Что такое тепловой баланс?
2. Из каких основных частей состоит тепловой баланс?
3. Как определить расход тепла на обогрев вентилируемого воздуха?
4. Как определить потери тепла через ограждающие конструкции помещения?
5. Как определить расход тепла на испарение влаги с поверхности ограждающих конструкций?