

Ю. А. Ракевич

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: rakevich.1991@mail.ru*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ ТЕПЛОТДАЧИ ВЫМЕНИ КОРОВЫ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос терморегуляции животного. Изучена температура поверхности крупного рогатого скота при различных температурах окружающей среды. Определена полная теплоотдача вымени коровы на основе теплофизических явлений проводимости, конвекции, излучения и испарения.

Ключевые слова: терморегуляция, тепловыделение, теплоотдача, вымя, корова.

Yu. A. Rakevich

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: rakevich.1991@mail.ru*

DETERMINATION OF TOTAL HEAT TRANSFER OF A COWS UDDER

Abstract. The article discusses the issue of animal thermoregulation. The surface temperature of cattle was studied at various ambient temperatures. The total heat transfer of the cow's udder was determined based on the thermophysical phenomena of conductivity, convection, radiation and evaporation.

Keywords: thermoregulation, heat release, heat transfer, udder, cow.

Введение

Крупный рогатый скот – гомойотермные животные, т. е. они могут поддерживать постоянную температуру тела в пределах определенного температурного диапазона. Терморегуляция происходит в гипоталамусе, где обрабатываются афферентные сигналы от рецепторов температуры кожи, спинного мозга и гипоталамуса. Тепловыделение осуществляется через физические процессы проводимости, конвекции, испарения и излучения (рис. 1) [1].

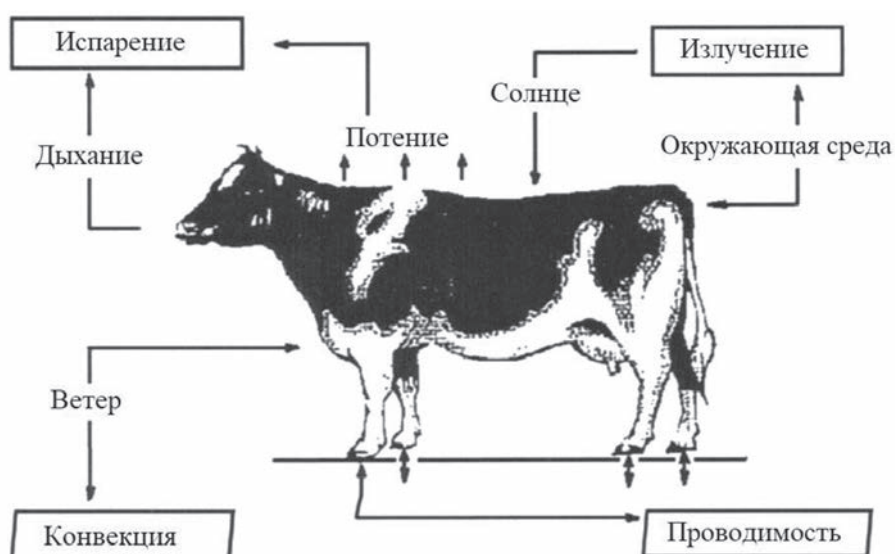


Рис. 1. Тепловая мощность крупного рогатого скота

Физиологические механизмы, поддерживающие нормальную температуру тела, включают афферентные, центральные и эфферентные звенья нервно-рефлекторной регуляции. К афферентным звеньям относятся нервные окончания, заложенные в коже, слизистых оболочках, внутренних органах, структурах мозга. К центральным звеньям терморегуляции, осуществляющим контроль за отклонениями температуры тела или его отдельных частей от нормы, относятся гипоталамус, кора головного мозга, продолговатый и спинной мозг. Эфферентным звеном терморегуляции является преимущественно симпатическая нервная система.

Основная часть

Процесс терморегуляции осуществляется следующим образом: холодовые и тепловые рецепторы воспринимают изменения температуры внешней среды, уровень теплосодержания в организме и передают соответствующую информацию центральным звеньям терморегуляции. Отклонение температуры от нормы приводит к появлению сигналов, которые передаются к различным органам, изменяя процессы обмена в мышцах, печени, изменяют просвет кровеносных сосудов, потоотделение, дыхание, мочевыделение и т. д., то есть изменяют теплопродукцию (химическая регуляция теплового обмена) и теплоотдачу (физическая регуляция теплового обмена).

Под химической терморегуляцией (теплопродукция) следует понимать изменение обмена веществ, в результате чего происходит образование тепла. Органами, принимающими участие в теплопродукции, являются все ткани организма, в которых осуществляется обмен веществ и энергии, однако главными органами теплового обмена являются мышцы и печень, где освобождается наибольшее количество тепла. Эти органы больше других принимают участие в тепловом обмене.

Другой областью, в которой происходит значительное теплообразование, являются мышцы. От действия низкой температуры рефлекторно возникает дрожь (мелкие клонические судороги), в результате которой образуется значительное количество тепла. Говоря о мышцах, как о главном органе теплового обмена, надо иметь в виду, что они принимают участие в выработке тепла даже при отсутствии видимых мышечных сокращений.

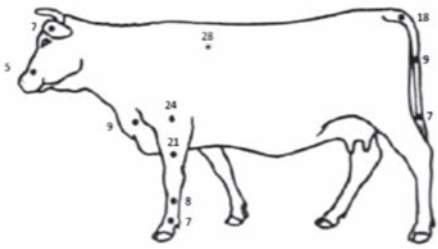
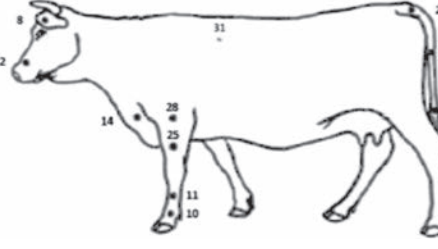
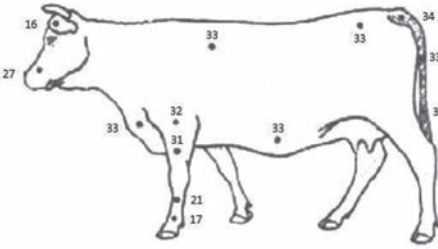
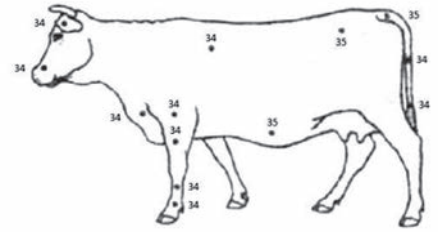
Физическая терморегуляция является приспособлением, благодаря которому регулируется теплоотдача. Теплоотдача происходит в основном посредством расширения периферических сосудов, благодаря потоотделению, дыханию, согреванию пищи и вдыхаемого воздуха. Сосудистый механизм теплоотдачи обычно приводится в действие рефлекторным путем. Под воздействием холода стенки сосудов сокращаются, кожа бледнеет, теплоотдача понижается. От действия тепла, наоборот, сосуды расширяются, кожа краснеет, теплоотдача усиливается, и организм освобождается от излишков образующегося в нем тепла.

Теплоотдача осуществляется также благодаря потоотделению. Регуляция потоотделения осуществляется расположенными в промежуточном и спинном мозге нервными центрами, которые возбуждаются рефлекторно от воздействия тепла или непосредственно от нагретой крови. Деятельность этих центров контролируется корой головного мозга. Путем испарения воды с поверхности альвеол легких отдается довольно большое количество тепла. Частота и глубина дыхания определяет количество выделяемого тепла. Этот способ отдачи тоже регулируется нервной системой. В терморегуляции участвуют и железы внутренней секреции: щитовидная, надпочечники, гипофиз, поджелудочная железа и др.

У крупного рогатого скота температура тела составляет 37,5–39,5 °С. Эти колебания зависят от температуры окружающей среды, вида животных, возраста, индивидуальных особенностей, времени суток и других факторов (табл. 1.) [2].

Между организмом животного и воздушной средой существует постоянная связь. Обеспечение постоянства температуры тела при изменении наружной температуры основывается на способности организма животного поддерживать равновесие между образованием тепла (химическая терморегуляция) и его отдачей (передачей) во внешнюю среду (физическая терморегуляция). Основными путями отдачи тепла организмом животных являются теплоизлучение (радиация) и конвекция (срыв тепла). Тепло теряется за счет инфракрасного излучения (до 30–40 % от всех потерь). Чем холоднее окружающая среда или большая поверхность, мало отражающая тепло (темный

Таблица 1. Температура поверхности крупного рогатого скота при различных температурах окружающей среды

Температура окружающей среды	Температура поверхности крупного рогатого скота	Область тела	Температура области тела, °С
-5 °С		морда	5
		ухо	7
		спина	28
		грудина	9
		лопатка	24
		подплечье	21
		пясть	8
		путо (бабка)	7
		хвост (верх)	18
		хвост (середина)	9
		хвост (низ)	7
5 °С		морда	12
		ухо	8
		спина	31
		грудина	14
		лопатка	28
		подплечье	25
		пясть	11
		путо (бабка)	10
		хвост (верх)	24
		хвост (середина)	12
		хвост (низ)	12
15 °С		морда	27
		ухо	16
		спина	33
		грудина	33
		лопатка	32
		подплечье	31
		пясть	21
		путо (бабка)	17
		хвост (верх)	34
		хвост (середина)	33
		хвост (низ)	33
20 °С		морда	34
		ухо	34
		спина	34
		грудина	34
		лопатка	34
		подплечье	34
		пясть	34
		путо (бабка)	34
		хвост (верх)	35
		хвост (середина)	34
		хвост (низ)	34

цвет, высокая теплопоглощаемость), тем больше теряется тепла данным излучением. Зависит потеря тепла таким способом и от расстояния животных от окружающих поверхностей. Конвекция – это срыв тепла с поверхности тела животного, который достигает 15 % всех потерь и зависит от качества шерстного покрова, уровня температуры, влажности и скорости движения воздуха. Следующий путь ухода тепла из организма – теплопроводение. Процесс теплопроводения происходит при непосредственном соприкосновении тела животного с окружающими конструкциями, при лежании на сыром, холодном полу, земле, снеге, металле. Много тепла теряется путем испарения влаги с поверхности тела и выделения влаги с дыхательных поверхностей. В выдыхаемом воздухе содержится до 100 % влаги. При испарении 1 грамма влаги теряется 0,692 Вт тепла. Тратится тепло и на согревание вдыхаемого воздуха, съеденного корма, выпитой воды (6–8 %). Часть тепла теряется с молоком, калом, мочой (до 1 %). Образуется тепло при усвоении кормов, их окислении (сгорании), движении и другой мышечной работе. Температура окружающей среды оказывает наибольшее воздействие на животных, так как она непосредственно влияет на тепловое состояние организма, изменяя тем самым течение жизненно важных процессов [3].

Определение полной теплоотдачи вымени теплокровного животного можно получить исходя из теплофизических явлений: проводимости (кондукции), конвекции (дыхания), излучения (радиации) и испарения (пота и влаги). При этом необходимо учитывать температуру поверхности вымени, температуру окружающей среды, скорость воздуха. В общем виде формула полной теплоотдачи вымени коровы может быть представлена как:

$$Q_{\text{полн.}} = Q_{\text{пров.}} + Q_{\text{конв.}} + Q_{\text{излуч.}} + Q_{\text{испар.}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{полн.}}$ – полная теплоотдача вымени, Вт/м²; $Q_{\text{пров.}}$ – теплоотдача за счет проводимости, Вт/м²; $Q_{\text{конв.}}$ – теплоотдача за счет конвекции, Вт/м²; $Q_{\text{излуч.}}$ – теплоотдача за счет излучения, Вт/м²; $Q_{\text{испар.}}$ – теплоотдача за счет испарения, Вт/м²;

Количество тепла, отдаваемое выменем коровы в окружающую среду, можно найти, представив вымя коровы условно в форме полусферы. Внутренний объем вымени отделен от окружающей среды состоящим из кожи, шерсти и волос покровом, имеющим площадь S (рис. 2).

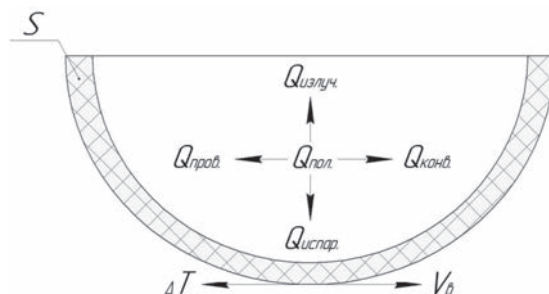


Рис. 2. Схема полной теплоотдачи вымени коровы: $Q_{\text{полн.}}$ – полная теплоотдача вымени, Вт/м²; $Q_{\text{пров.}}$ – теплопередача за счет проводимости, Вт/м²; $Q_{\text{конв.}}$ – теплопередача за счет конвекции, Вт/м²; $Q_{\text{излуч.}}$ – теплопередача за счет излучения, Вт/м²; $Q_{\text{испар.}}$ – теплопередача за счет испарения, Вт/м²; S – площадь поверхности кожного покрова вымени, м²; ΔT – разность температуры между поверхностью вымени и окружающей средой, К; $V_{\text{в}}$ – скорость движения воздуха окружающей среды, м/с

Теплопередачу за счет теплопроводности можно рассчитать с помощью закона Фурье [5]:

$$Q_{\text{пров.}} = \lambda \cdot S (T_1 - T_2), \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м²·К; S – площадь поверхности кожного покрова вымени, м²; T_1 – температура поверхности вымени, К; T_2 – температура окружающей среды (воздуха), К.

Теплопередачу за счет конвекции можно рассчитать, используя закон охлаждения Ньютона [6]:

$$Q_{\text{пров.}} = h \cdot S (T_1 - T_2), \quad (3)$$

где h – коэффициент конвективной теплопередачи, Вт/м²·°С.

Теплопередачу за счет излучения можно рассчитать, используя закон Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{конв.}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S (T_1^4 - T_2^4), \quad (4)$$

где ε – коэффициент излучения поверхности вымени, Вт/м²·К; σ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²·К⁴.

Количество тепла, отдаваемого с поверхности вымени испарением, определяется уравнением [5]:

$$Q_{\text{испар.}} = V_{\text{в}} \cdot W \cdot S (P_{\text{к}} - P_{\text{в}}), \quad (5)$$

где $V_{\text{в}}$ – скорость воздуха окружающей среды, м/с; W – коэффициент увлажнения вымени; S – площадь поверхности кожного покрова вымени, м²; $P_{\text{к}}$ – парциальное давление водяного пара в насыщенном воздухе под выменем, Па; $P_{\text{в}}$ – парциальное давление водяного пара в окружающем воздухе, Па.

В результате получим:

$$Q_{\text{полн.}} = \lambda \cdot S \cdot \Delta T + h \cdot S \cdot \Delta T + \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot \Delta T^4 + V_{\text{в}} \cdot W \cdot S \cdot \Delta P. \quad (6)$$

После упрощения получим формулу для определения полной теплоотдачи вымени коровы:

$$Q_{\text{полн.}} = S \cdot \Delta T (\lambda + h + \varepsilon \cdot \sigma \cdot \Delta T^3 + V_{\text{в}} \cdot W \cdot S \cdot \Delta P). \quad (7)$$

Заключение

Полная теплоотдача вымени коровы будет зависеть от разности температуры между поверхностью вымени и окружающей средой, а также от скорости движения воздуха, разности парциального давления водяного пара в насыщенном воздухе, которое меняется в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха.

Полученная зависимость для определения полной теплоотдачи вымени коровы может быть использована для учета физиологического теплообмена между биологическим объектом – выменем дойной коровы и окружающей средой, изучения вопросов, связанных с молокоотдачей и тепловым стрессом, диагностики мастита дойных коров термографическим методом, для контроля микроклимата на молочно-товарных фермах, направленных на повышение продуктивности и продолжительности хозяйственного использования животных.

Список использованных источников

1. Гируцкий, И. И. Анализ инфракрасного изображения вымени коров / И. И. Гируцкий, В. И. Передня, Ю. А. Ракевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 9–12.
2. Патология терморегуляции / М. А. Макарук [и др.]. – Витебск: УО ВГАВМ, 2005. – С. 5–27.
3. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle / R. J. Collier [et al.]. – Journal of Dairy Science, 2006. – P. 1244–1253.
4. Научные основы выращивания ремонтного молодняка крупного рогатого скота: монография / Д. М. Богданович [и др.] // Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Жодино, 2022. – 303 с.
5. Медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности / Н. В. Воякина, М. А. Промтов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 24 с.
6. Энергосбережение в процессах теплообмена: метод. пособие для практ. занятий по дисц. «Основы экологии и энергосбережения» / И. И. Кирвель, М. М. Бражников, Е. Н. Зацепин. – Минск: БГУИР, 2007. – 28 с.