

6. Belyaev V.I., Yakovlev D.A. Otsenka tyagovykh energozatrat posevnogo kompleksa «Kuzbass» pri razlichnykh skorostyakh dvizheniya // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (7-8 fevralya 2019 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2019. – Kn. 2. – S. 12-15.

7. Belyaev V.I. Effektivnost primeneniya granulirovannykh i zhidkikh mineralnykh udobreniy s

mikroelementami pri vozdeystvii yarovoy pshenitsy v Kulundinskoy stepi Altayskogo kraya // Perspektivy vnedreniya innovatsionnykh agrotekhnologiy pri vozdeystvii selskokhozyaystvennykh kultur: sbornik statey / Rossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 75-letnemu yubileyu agronomicheskogo fakulteta Altayskogo GAU (23 noyabrya 2018 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2018. – S. 12-18.



УДК 621.1:697.7

Н.И. Капустин, В.В. Садов
N.I. Kapustin, V.V. Sadov

ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ МАЛЫХ ФЕРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

THE SUBSTANTIATION OF VENTILATION SYSTEMS FOR SMALL FARMS USING PHASE TRANSITION HEAT

Ключевые слова: малая ферма, технологии содержания животных, микроклимат, естественная вентиляция, автоматическое регулирование, ресурсосбережение, фазовый переход.

При содержании животных на малых фермах один из основных показателей повышения продуктивности практически никогда не решается. Это создание требуемого микроклимата. Данной проблеме не отводится должного внимания и в литературе. Проблемы с вентиляцией на малых фермах возникли из-за отсутствия сопоставительного анализа возможных противоречий между адаптационными возможностями животных и птицы, технологией их содержания, объемно-планировочными решениями зданий и применяемыми в них строительными материалами, а также климатическими особенностями данной местности. Не исключен и фактор «привязанности» человека к каким-либо технологиям. Чем жестче технология содержания, тем жестче требования ко всем систе-

мам жизнеобеспечения, в том числе и вентиляции. При беспривязной технологии содержания животных или напольном содержании птицы (имеется свобода перемещения по помещению) возможна общеобменная вентиляция, но при содержании животных на привязи или в индивидуальных клетках целесообразно применить в качестве приточной системы локальную. Это обосновано тем, что при наличии свободы перемещения животное само определяет для себя наиболее комфортную зону. Целесообразно составить схему процессов с их связями и присвоением номеров. После составления функциональной схемы здания и определения предполагаемого вида, возраста и т.п. животных и птицы определяем с ориентацией помещения по розе ветров, размерами основных и вспомогательных помещений, а также конструкционных материалов. Из известных объемно-планировочных систем зданий на малых фермах наиболее широко применяется коридорная, где помещения или клетки для животных располагают с одной или двух

сторон. Кроме ориентации здания по сторонам света обязательно учесть расположение здания по отношению к соседям, в противном случае могут возникнуть сложности по оптимизации всех систем обеспечения жизнедеятельности. К зданию, построенному без учета всех требований, зачастую невозможно применить оптимальные системы жизнеобеспечения.

Keywords: *small farm, animal housing technologies, microclimate, natural ventilation, automatic control, resource saving, phase transition.*

When animals are housed in small buildings, one of the main problems of increasing productivity is almost never solved. This is the creation of the required microclimate. This problem is not given due attention in the literature. The problems of ventilation on small farms arose due to the lack of a comparative analysis of possible contradictions between the adaptive abilities of animals and poultry, the technology of their housing, the space-planning decisions of buildings and the building materials used in them, as well as the climatic features of the area. The factor of personal "attachment" to some technology is not excluded. The stricter the housing

technology is, the stricter the requirements for all life support systems are, including ventilation. With a loose housing technology or poultry floor management system (free movement in the room), general exchange ventilation is possible; but in case of tie-up housing or poultry housing in individual cages, it is advisable to use local ventilation. This is justified by the fact that in the presence of freedom of movement, an animal determines the most comfortable zone by itself. It is advisable to draw up a process diagram with their connections and assignment of numbers. After drawing up a functional diagram of the building and determining the intended species, age, etc. of animals and poultry, the orientation of the room according to the wind rose, the dimensions of the main and auxiliary rooms, as well as structural materials are determined. Of the known space-planning systems of buildings on small farms, the most widely used is the corridor-type arrangement, where rooms or cages are located on one or two sides. In addition to the orientation of the building to the cardinal points, it is imperative to take into account the location of the building in relation to its neighbors otherwise it may be difficult to optimize all life support systems. It is often impossible to apply optimal life support systems to a building built without taking into account all the requirements.

Капустин Николай Игнатьевич, к.т.н., пенсионер, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Садов Виктор Викторович, д.т.н., зав. каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 203-272. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Kapustin Nikolai Ignatyevich, Cand. Tech. Sci., retiree, Altai State Agricultural University. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Head, Chair of Agricultural Production and Processing Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 203-272. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Введение

Производство плодов и овощей в открытом и закрытом грунте многие жители освоили в совершенстве, что подкрепляется достаточной информационной базой. С животными и птицей ситуация другая, т.к. при содержании в помещениях значительное влияние оказывает система вентиляции. В этом случае неправильная работа системы или полностью ее отсутствие дают негативный эффект.

Создание работоспособной системы вентиляции на малой ферме часто вызывает много вопросов и споров. Это связано с невыполнением строительных норм и правил при проектировании, а также с отношением данной системы, как не влияющей на жизнеспособность объекта при содержании небольшого поголовья в личных подсобных и фермерских хозяйствах.

Кто вырос в сельской местности, у того имеется опыт как по устройству сооружений, так и по

содержанию животных. Но ограниченность площади приусадебных участков, новые строительные материалы и другие факторы зачастую сводят этот опыт к нулю. Литературы по особенностям исполнения животноводческих помещений для подсобных хозяйств крайне мало, причем зачастую идет повтор одних и тех же разработок. Мы не найдем отличий в проектных решениях по системам жизнеобеспечения животных и птицы как для южных, так и для северных регионов России. В какой-то мере это возможно для систем кормления, поения, удаления навоза и сбора продукции, но не систем обеспечения микроклимата. Опасно то, что не только разработки по системам обеспечения не адаптированы, например, к условиям Сибири, но и то, что в нормах технологического проектирования полная неувязка с реальностью. Если исходить из нормативов, то в Сибири животные не только не могли бы давать продукцию, но и даже жить [1]. Соответственно, такое

состояние привело к полной неразберихе по вопросам вентиляции, и каждый делает, что услышал или увидел, но мало кто проанализировал создавшуюся ситуацию со стороны законов элементарной физики, химии и биологии.

Это привело к проблеме высоких энергозатрат на создание микроклимата, низкой продуктивности животных и птицы при их значительном отходе и заболеваемости. В конечном итоге себестоимость продукции повышается [2, 3].

В статье вопросы вентиляции будут касаться в большей мере фазового перехода воды, находящейся в удаляемом из помещения воздухе. Так как фазовые переходы воды не только обуславливают различные циклы водообмена, но и играют существенную и своеобразную роль в процессах энергообмена.

Цель исследования – обоснование ресурсосберегающей системы вентиляции помещений для малой фермы по созданию оптимальных параметров микроклимата.

Объекты и методы исследований

Для крупных животноводческих комплексов при проектировании используют документы: СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»; СП 106.13330.2012 «Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения»; СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003; рекомендации по расчету и проектированию систем обеспечения микроклимата животноводческих помещений с утилизацией теплоты выбросного воздуха и другие [4].

Однако не всегда возможно применить данные рекомендации, в частности по вопросам вентиляции, к малым фермам из-за особенностей конструкций, их расположения, размещения животных, их плотности и т.д.

Проблемы с вентиляцией на малых фермах возникли из-за отсутствия сопоставительного анализа возможных противоречий между адапционными возможностями животных и птицы,

технологией их содержания, объемно-планировочными решениями зданий и применяемыми в них строительными материалами, а также климатическими особенностями данной местности. Не исключен и фактор «привязанности» человека к каким-либо технологиям.

Чем жестче технология содержания, тем жестче требования ко всем системам жизнеобеспечения, в том числе и вентиляции. При беспривязной технологии содержания животных или напольном содержании птицы (имеется свобода перемещения по помещению) возможна общеобменная вентиляция, но при содержании животных на привязи или в индивидуальных клетках целесообразно применить в качестве приточной системы локальную [5]. Это обосновано тем, что при наличии свободы перемещения животное само определяет для себя наиболее комфортную зону. Объемно-планировочные решения необходимо увязать (соподчинить) с удобством выполнения тех функциональных (технологических) процессов, для которых оно предназначено [1]. Целесообразно составить схему процессов с их связями и присвоением номеров. После составления функциональной схемы здания и определения предполагаемого вида, возраста и т.п. животных и птицы определяемся с ориентацией помещения по розе ветров, размерами основных и вспомогательных помещений, а также конструкционных материалов. Из известных объемно-планировочных систем зданий на малых фермах наиболее широко применяется коридорная, где помещения или клетки для животных располагают с одной или двух сторон. Кроме ориентации здания по сторонам света обязательно учесть расположение здания по отношению к соседям, в противном случае могут возникнуть сложности по оптимизации всех систем обеспечения жизнедеятельности. Для решения этих задач на первом этапе необходимы консультации специалистов. К зданию, построенному без учета вышеизложенного, сложно, зачастую и невозможно применить оптимальные системы жизнеобеспечения.

Результаты исследования

Рассмотрим на примере здания с чердаком, как наиболее приемлемого для условий Сибири, хотя на этапе строительства оно несколько дороже.

Чем же обосновано строительство такого типа здания?

1. Межкрышное пространство используется как резервное, а иногда и основное хранилище для стебельчатого корма. Для подачи корма внутрь помещения в потолке устраивают люк, что позволяет в период экстремальных погодных условий (буран, низкая температура наружного воздуха) подать корм животным без выхода на улицу.

2. Имеются некоторые конструктивные особенности исполнения потолочного перекрытия, не освещаемые в литературных источниках. Потолочное перекрытие сельский житель выполнял из жердей, уложенных на ригели (балки) застелив их слоем картофельной ботвы. По устройству бань мы знаем рекомендации по предотвращению гниения потолка – настилать на доски потолка березовый лист – он содержит деготь, предотвращающий гниение. Картофельная ботва, как и камыш, содержит бензойную кислоту и также предотвращает гниение и размножение болезнетворной микрофлоры. Стебельчатый корм (сено), уложенный на картофельную ботву, не плесневеет.

3. В зимний период в воздухе помещения в основном повышается содержание влаги, углекислоты и аммиака. Питательная ценность корма повышается при прохождении через него пара с растворенным в нем аммиаком.

4. Приблизительно, плотность сухого воздуха $1,4 \text{ кг/м}^3$, а плотность пара – $0,7 \text{ кг/м}^3$, соответственно, плотность насыщенного паром воздуха меньше плотности сухого, и он стремится вверх к потолку. Препятствовать выходу воздуха в зоне полка противоречит законам физики и ведет к дополнительным энергозатратам.

5. В чем суть фазовых переходов применительно к вентиляции? Фазовый переход первого рода – это равновесный переход вещества из одной фазы в другую, в котором скачкообразно изменяются первые производные от энергии Гиббса G по температуре и давлению. К фазовым переходам первого рода относятся испарение жидкостей, сублимация твердых тел, плавление, кристаллизация, полиморфные и аллотропные превращения кристаллических веществ. При постоянном давлении и температуре вещество переходит из фазы I в фазу II тогда, когда $G_1 > G_2$, где G_1 и G_2 – мольные значения изобарного потенциала в соответствующих фазах. Если $G_1 = G_2$, две фазы находятся в состоянии истинного равновесия (могут сосуществовать) [6, 7].

Фазовые переходы второго рода характеризуются непрерывным изменением G и его первых производных, и скачкообразным изменением только вторых производных изобарного потенциала. Фазовые переходы второго рода характеризуются скачкообразным изменением теплоемкости, величины коэффициентов объемного расширения и сжимаемости и т. д. Они не сопровождаются тепловым эффектом. При них сосуществующие фазы отличаются не объемом и запасом энергии, а значениями их производных.

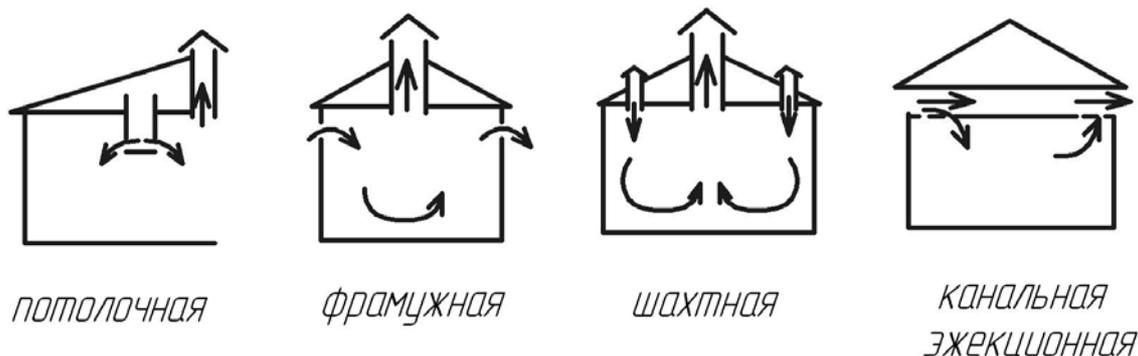


Рис. Варианты систем вентиляции животноводческих помещений с чердаком

Применительно для животноводческих помещений можно сделать пояснения. Стебельчатый корм имеет температуру ниже точки росы, и пар из воздуха помещения превращается в воду (конденсируется) с выделением тепла фазового перехода (2300 кДж/кг). Сконденсированная влага по капиллярам стебельчатого корма поднимается к поверхности. Температура в межкрышном пространстве днем значительно выше наружной за счет солнечной радиации. При положительной температуре в межкрышном пространстве происходит испарение влаги с поверхностного слоя корма, а при отрицательной образуется «снеговая шуба» с выделением теплоты фазового перехода (335 кДж/кг). В сумме в помещении остается 2635 кДж/кг теплоты при удалении влажного воздуха, т.е. вред обращен в пользу. «Снеговая шуба» при нагревании кровли испаряется (сублимация). В конечном итоге такой способ удаления воздуха из помещения оптимален по всем составляющим и поэтому повсеместно использовался и используется в условиях Сибири. Зачастую те, кто строят здание для животных, невнимательны к многовековому опыту. Если выполнили из современных материалов потолок герметичным, то необходимо выполнить в потолке проем с пористой вставкой. Это же относится к овощехранилищам и т.д. [2].

6. Как распределяются теплотери в ограждающих конструкциях? Пропорционально разности температур внутри и снаружи ограждающих конструкций (стены, потолки) и их термическому сопротивлению. При примерно равной площади стен и потолка температура в помещении в зоне потолка самая высокая, соответственно, термическое сопротивление потолочного перекрытия должно быть большим. Термическое сопротивление ограждающих конструкций не должно допускать выпадения конденсата на внутренней поверхности. Частой ошибкой является малое внимание к утеплению потолка.

7. Какая температура комфортна для животного?

Однозначно ответить сложно. Одни рассматривают это с точки зрения запуска в организме механизма выживания, другие – сезонную адап-

тацию, третьи – создание «тепличных условий». Это, скорее, на любителя, т. е. человеческий фактор. Но везде, при грамотном подходе, просматривается логика.

«Холодный способ содержания» – животные на улице в индивидуальных домиках, на входе палатка, а это по п. 5 – сохранение тепла, удаление влаги и вредодействующих газов. Эксплуатация трудоемка. Механизм выживания запускается и адаптационные возможности раскрываются. Этот же способ, но содержание в помещении. Одни строят домики из соломы, другие из пилломатериала, третьи просто поставили в клетки. Но большинство не учли, что все это они делали для удаления влаги и вредодействующих газов при соблюдении достаточного количества кислорода в воздухе [8]. В помещение животных поставили, но вентиляцию не сделали.

«Тепличные условия» заложены в нормах технологического проектирования во времена плановой экономики СССР. В довоенный период нормы были реальными. Как были обоснованы и чем вызваны «тепличные нормы»? Это было связано с поиском причин низкой продуктивности животных в послевоенный период. Животноводческая наука сделала «хитрый» ход, списав все на микроклимат. Этим никто не занимался и наказать было некого. Создали невыполнимые нормы и, не вдаваясь в логику, все проблемы связывали с ними, будь то некачественный корм, разгильдяйство, ошибки в технологии, строительстве и т.п. Это не голословное утверждение. Во время анализа проекта зональной привязки для Алтайского края (коровник на 200 гол.) с естественной подпольной системой приточной вентиляции было доказано, что существующие нормативы нереальны (разработка АНИПТИЖ). Докладчик – Н.И. Капустин. Предварительно проводилась проверка по линии МСХ в хозяйствах Алтайского края («Черная Курья» Мамонтовского района; «Сибирские огни» Павловского района). После рассмотрения всех вопросов Н.И. Капустин обратился в зал с просьбой разъяснить, почему с нормами такая ситуация. В президиуме нашелся специалист, ответивший на мой вопрос, причем с указа-

нием на фамилию человека, провернувшего эту аферу, может быть и необходимую в то время, но приведшую к большому перерасходу ресурсов. До сих пор мы обучаем специалистов, пишем рекомендации с опорой на эти нормы. Редко кто в исследованиях не подтягивает полученные данные к нормативным – как можно противоречить мнению «ведущих» специалистов. Хорошо то, что у русского человека всякая строгость законов нейтрализуется их незнанием, соответственно, неисполнением.

8. С удалением воздуха из помещения разобрались – или через пористые элементы, или через каналы. Организация притока воздуха в помещениях частного сектора эксклюзивна, но логична. Для привязного содержания КРС в стене над кормушкой для стебельчатого корма выполняется проем с клапаном в виде створки. Корм подается в кормушку без захода в помещение. В период, когда позволяет температура наружного воздуха, клапан открыт, что обеспечивает животных свежим воздухом. Если здание построено, технология задана, но появилось несоответствие с вышерассмотренным пунктом, то вопросы необходимо решать со специалистами.

Выводы

1. К системам вентиляции на малых фермах необходимо подходить особенно тщательно, т.к. конструктивные исполнения помещений, их расположение на местности по отношению к другим постройкам, размещение и плотность животных и другие факторы должны быть согласованы.

2. Наиболее подходящим помещением для малой фермы с точки зрения обеспечения работы вентиляции является помещение с чердаком. В этом случае отработанный пар из помещения превращается в «снеговую шубу», и за счет этого фазового перехода сохраняется значительное количество энергии в помещении.

3. Для высокой эффективности работы системы естественной вентиляции необходима установка приточных коробов, обеспечивающих независимость естественной вентиляции от энергоисточников при высоком качестве регулирования.

Библиографический список

1. Федоренко, И. Я. Обоснование объемно-планировочных и технических решений молочно-товарной фермы для условий Сибири с использованием классификационной матрицы / И. Я. Федоренко, Н. И. Капустин, В. В. Садов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 140-146.

2. Позин, Г. М. Системы вентиляции современных помещений для содержания крупного рогатого скота / Г. М. Позин [и др.]. – Текст: непосредственный // Инженерные системы – 2009 – № 2. – С. 34-41.

3. Behens G. Freie Lueftung in der Milchproduktion, ein Beispiel fuer energiesparende und gesunde Haltung / G. Behens // Tierzucht. – 1984. – Nr. 1. – S. 32-34.

4. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота / РД-АПК 1.10.01.02.-10. – Москва: МСХ РФ, 2011. – 108 с. – Текст: непосредственный.

5. Рымкевич, А. А. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А. А. Рымкевич. – Москва: Стройиздат, 1990. – 300 с. – Текст: непосредственный.

6. Базаров, И. П. Термодинамика / И. П. Базаров. – Москва: Высшая школа, 1991 – 376 с. – Текст: непосредственный.

7. Шепелев, В. В. Фазовые переходы воды – основа природных водообменных циклов / В. В. Шепелев. – Текст: непосредственный // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 495-498.

8. Соловьев, С. А. Модель тепловых потоков в индивидуальной клетке для теленка / С. А. Соловьев, В. Н. Алексеев, М. М. Бокиев. – Текст: непосредственный // Техника в сельском хозяйстве. – 2000. – № 4. – С. 28-29.

References

1. Fedorenko, I.Ya. Obosnovanie obemno-planirovochnykh i tekhnicheskikh resheniy molochnotovarnoy fermy dlya usloviy Sibiri s ispolzovaniem klassifikatsionnoy matritsy / I.Ya. Fedorenko, N.I. Kapustin, V.V. Sadov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 11 (145). – S. 140-146.
2. Pozin, G.M. Sistemy ventilyatsii sovremennykh pomeshcheniy dlya sodержaniya krupnogo rogatogo skota / G.M. Pozin i [dr.] // Inzhenernye sistemy. – 2009. – No. 2. – S. 34-41.
3. Behens G. Freie Lueftung in der Milchproduktion, ein Beispiel fuer energiesparende und gesunde Haltung / G. Behens // Tierzucht. – 1984. – Nr. 1. – S. 32-34.
4. Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu ferm i kompleksov krupnogo rogatogo skota / RD-APK 1.10.01.02.-10. – Moskva: MSKh RF, 2011. – 108 s.
5. Rymkevich, A.A. Sistemnyy analiz optimizatsii obshcheobmennoy ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukhа. – Moskva: Stroyizdat, 1990. – 300 s.
6. Bazarov, I. P. Termodinamika. – Moskva: Vysshaya shkola, 1991. – 376 s.
7. Shepelev V.V. Fazovye perekhody vody – osnova prirodnykh vodoobmennyykh tsiklov // Fundamentalnye problemy vody i vodnykh resursov na rubezhe tretego tysyacheletiya. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2000. – S. 495-498.
8. Solovev S.A. Model teplovykh potokov v individualnoy kletke dlya telenka / S.A. Solovev, V.N. Alekseev, M.M. Bokiev // Tekhnika v selskom khozyaystve. – 2000. – No. 4. – S. 28-29.



УДК 620.953:620.98

Ю.М. Дулепова, Д.Е. Дулепов, М.С. Жужин, А.А. Александрова
Yu.M. Dulepova, D.Ye. Dulepov, M.S. Zhuzhin, A.A. Aleksandrova

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ ДЛЯ ПОЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

MATHEMATICAL MODELING OF A WATER HEATER FOR CATTLE WATERING

Ключевые слова: *нагрев воды, поение, температура воды, экономия электрической энергии, теплообменник, тепловыделение КРС, теплота, математический расчёт, мощность, время нагрева, продолжительность нагрева.*

Изучение потребления энергоресурсов сельскохозяйственными предприятиями выявило повышенное потребление электрической энергии. Очевидно, что требуется снижение её потребления. Большую часть потребления электрической энергии в сельскохозяйственных предприятиях занимают электрические водонагреватели. Рассматриваются типы нагревательных устройств в зависимости от вида нагрева: косвенного, прямого, индукционного, диэлектрического. Проводился анализ научных работ многих учёных о влиянии температуры на продуктивность животных. Выяснили, что вода различной температуры оказывает разное влияние на производительность крупного рогатого скота, но по-прежнему остаётся потребность в подогреве воды. Для того чтобы удовле-

творить требование в снижении потребления электрической энергии, затрачиваемой на нагрев воды, предлагается использовать новое устройство, которое представляет собой теплообменник, работающий за счёт теплоты излучаемой крупным рогатым скотом. Он представляет собой оребрённую трубу, которая заполняется водой. Оребрение необходимо для увеличения поверхности теплообмена. Математические расчёты выполнялись в несколько этапов. Сначала была выбрана программа для автоматизации необходимых расчётов, затем выбраны задающие условия для математического моделирования эксперимента. В результате выполнена аппроксимация экспериментальных зависимостей температуры воды от времени нагрева при разной мощности излучателя теплоты, составлены матричные уравнения в соответствии с экспериментальными данными опытного образца устройства для нагрева воды. Для описания зависимости температуры от времени нагрева из матричных уравнений выведены полиномы. Графически отображены указанные зависимости для разных мощностей, которые