

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет

Панова Т.В., Панов М.В., Сакович Н.Е.

**Энергосберегающие технологии
улучшения микроклимата
в животноводческих помещениях**

Монография

Брянская область,
2021

УДК 614.8.086 (035.3)

ББК 51.24

П 16

Панова, Т. В. Энергосберегающие технологии улучшения микроклимата в животноводческих помещениях: монография / Т. В. Панова, М. В. Панов, Н. Е. Сакович. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. - 68 с.

ISBN 978-5-88517-378-0

В монографии рассмотрены вопросы безопасности работников при хранении растительного материала, терморегуляции и реакции организма человека на микроклиматические факторы, требования к микроклимату в животноводческих помещениях и применение энергосберегающего оборудования для нормализации микроклимата

Монография рекомендована для изучения дисциплин «Производственная санитария и гигиена труда», «Экологическая безопасность», «Промышленная экология» направления 280700 (20.03.01) - Техносферная безопасность.

Рецензенты:

Христофоров Е.Н. - доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Брянского ГАУ.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно - технологического факультета Брянского ГАУ от «31» августа 2021 г., протокол №1.

ISBN 978-5-88517-378-0

© Панова Т.В., 2021

© Панов М.В., 2021

© Сакович Н.Е., 2021

© Брянский ГАУ, 2021

Оглавление

Введение	4
1 Энергосберегающие технологии и оборудование для улучшения микроклимата в животноводческих помещениях.....	6
1.1 Анализ заболеваемости работников.....	6
1.2 Терморегуляция и реакции организма человека на микроклиматические факторы.....	8
1.2.1 Физическая и химическая терморегуляция	8
1.2.2 Реакция организма человека на микроклиматические факторы	9
1.3 Требования к микроклимату в животноводческих помещениях	12
1.4 Энергосберегающие технологии для нормализации микроклимата	14
1.5 Энергосберегающее оборудование для нормализации микроклимата	21
1.5.1 Классификация теплоутилизаторов	21
1.5.2 Термогенез растительного сырья	24
1.6 Методы контроля температуры в растительном сырье.....	28
2 Результаты экспериментальных исследований.....	30
2.1 Влияние микроклиматических условий на заболеваемость	30
2.1.1 Результаты исследования микроклимата и чистоты воздуха в животноводческом помещении.....	30
2.1.2 Результаты исследования заболеваемости	35
2.2 Влияние физико-химических свойств растительных материалов	40
на процесс термогенеза.....	40
2.2.1 Результаты исследования температуры, плотности и кислотности растительного сырья	40
2.2.2 Результаты исследования процесса гниения.....	43
2.3 Исследование влияния конструктивных и режимных параметров теплоутилизатора на его производительность	50
Литература	56
ПРИЛОЖЕНИЕ А	59

Введение

Анализ данных по профессиональным заболеваниям и травматизму работников на предприятиях агропромышленного комплекса России, занятых обслуживанием животноводческих ферм и комплексов, свидетельствуют о том, что в большинстве своем условия их труда не отвечают санитарно-гигиеническим требованиям.

Не соответствующая санитарным и зоотехническим нормам температура оказывает вредное физиологическое воздействие на работника и понижает жизнедеятельность животного.

Анализ несчастных случаев, заболеваний и аварий, произошедших в России за последние годы, позволил выделить основные причины аварийности и травматизма на производстве.

На долю человеческого фактора приходится 50,1% случаев; оборудование и техника явились причиной 18,1% происшествий; технология выполнения работ – 7,8%; условия внешней среды – 16,6%; прочие факторы – 7,4%.

В настоящее время заметно возрос удельный вес аварий и несчастных случаев, происходящих из-за неправильных действий обслуживающего технического персонала. Часто это связано с недостаточностью профессионализма, а также неумением принимать оптимальные решения в сложной критической обстановке в условиях дефицита времени.

Заболеваемость в АПК в 71,2-81,5% случаев формируется ограниченной группой болезней органов дыхания (36,6%), сердечнососудистой системы (7%), опорно-двигательного аппарата (14,3%), кожи и подкожной клетчатки (3,8%), специфических женских видов патологии (7,5%).

В отрасли животноводства в сравнении со средними значениями по АПК возрастает число заболеваний органов дыхания (40%), болезней кожи и подкожной клетчатки (4,6%), почти втрое специфических женских патологий (18,5%), сердечнососудистых заболеваний (4,6%) и болезней опорно-двигательного аппарата (13,7%). Наибольшая длительность нетрудоспособности выявлена при

болезнях органов дыхания (23,1%), опорно-двигательного аппарата (14,8%), сердечнососудистой системы (8,9%) и женских патологий (8,5%) [10].

У животных нарушается кровообращение, дыхание, терморегуляция, газообмен и обмен веществ, что, в свою очередь, оказывает влияние на резистентность организма и, естественно, на продуктивность животных - снижается продуктивность молочных коров на 25...60%, уменьшаются привесы молодняка на 12...30%; наблюдается вялое поведение, у животных портится аппетит, повышается температура тела и кожи, учащаются в 2...3 раза против нормы пульс и дыхание. В результате этого воздух больше насыщается углекислым газом и водяными парами, что способствует появлению пневмонии, септических заболеваний и т. д. Кроме того, высокие температуры окружающей среды подавляют половую функцию и, следовательно, оплодотворяемость животных. Низкие температуры в телятниках являются одной из причин большой смертности телят (особенно в первые недели жизни) в результате заболеваний (катар верхних дыхательных путей, бронхопневмония, диспепсия и др.). При содержании животных в холодный период года в помещениях с высокой влажностью часто отмечаются такие заболевания, как ринит, бронхит, воспаление легких, мастит у коров, желудочно-кишечные заболевания у молодняка.

На основании анкетного опроса работников, занятых обслуживанием животноводческих ферм и комплексов, условия труда необходимо улучшать за счет нормализации микроклимата в основных и вспомогательных животноводческих помещениях.

В настоящее время разработаны энергосберегающие технологии для создания микроклимата в животноводческих помещениях. Как показал анализ, все они требуют усовершенствования существующих систем вентиляции, монтажа нового дорогостоящего оборудования, средств автоматики и контроля. Технологии, связанные с использованием теплоты, поступающей от растительного сырья при компостировании или от силосуемых материалов, мало изучены, хотя именно они являются наиболее доступными по стоимости и трудоемкости для большинства хозяйств, включая фермерские.

1 Энергосберегающие технологии и оборудование для улучшения микроклимата в животноводческих помещениях

1.1 Анализ заболеваемости работников

Производственная травма (трудовое увечье) - это следствие действия на организм различных внешних опасных производственных факторов. Травмирование работников возможно вследствие воздействия химических факторов, например, ядохимикатов (отравления или ожоги), физических факторов - электрического тока (электрические ожоги, электрические удары), высокой или низкой температуры (ожоги или обморожения), а также в результате сочетанного действия различных факторов (комбинированные травмы) [9].

Производственно-обусловленное заболевание - это заболевание, появляющееся в результате поражения организма вредными производственными факторами (патологии органов дыхания, нервной, сердечно-сосудистой, опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта, ЛОР-органов, кожи и др.) [10].

Профессиональное заболевание - это повреждение здоровья работника в результате постоянного или длительного воздействия на организм вредных условий труда. Различают острые, хронические, единичные и групповые профессиональные заболевания. Профессиональным заболеваниям посвящены научные труды таких ученых, как Парцельс (1499-1541), Агрикола (1494-1555), Ромаццини (1633-1714), Авиценна (ок. 980-1037), Гален (130-600 гг. н.э.), а так же труды отечественных ученых: Никитина А.Н., Эрисмана Ф.Ф., Никольского Д.П., Левицкого В.А., Израэльсона З.И., Хлопина Г.В., Доброславина А.П. Острое профессиональное заболевание возможно в виде ожога глаз ультрафиолетовым излучением при выполнении сварочных работ, при отравлении хлором, оксидом углерода и др. Хронические профессиональные заболевания развиваются после многократного и длительного воздействия

вредных производственных факторов, например, вибрации, производственного шума и др. [27].

В зависимости от вида производственных вредностей могут развиваться такие заболевания как пневмокониозы, повреждение кожных покровов, нарушение опорно-двигательного аппарата, виброблезнь, шумовая болезнь (тугоухость) и др. [31].

В настоящее время в России регистрируется до 12-13 тысяч профессиональных заболеваний в год. Для сравнения, примерно такое же количество регистрируется в Финляндии, а в США сотни тысяч (более 500) профессиональных заболеваний в год. Очевидно, что сравнительно небольшое количество ежегодно устанавливаемых профессиональных заболеваний в России вызвано не лучшими условиями труда, а недостатками в диагностике профессиональных заболеваний на ранней стадии их развития и низкой личностной оценкой своего здоровья [5].

Анализ несчастных случаев, заболеваний и аварий, произошедших в России за последние годы, позволил выделить основные причины аварийности и травматизма на производстве. На долю человеческого фактора приходится 50,1% случаев; оборудование и техника явились причиной 18,1% происшествий; технология выполнения работ – 7,8%; условия внешней среды – 16,6%; прочие факторы – 7,4%. В настоящее время заметно возрос удельный вес аварий и несчастных случаев, происходящих из-за неправильных действий обслуживающего технического персонала. Часто это связано с недостаточностью профессионализма, а также неумением принимать оптимальные решения в сложной критической обстановке в условиях дефицита времени [17].

Заболеваемость в АПК в 71,2-81,5% случаев формируется болезнями органов дыхания (36,6%), сердечнососудистой системы (7%), опорно-двигательного аппарата (14,3%), кожи и подкожной клетчатки (3,8%), специфическими женскими видами патологии (7,5%). В отрасли животноводства в сравнении со средними значениями по АПК возрастает число заболеваний органов дыха-

ния (40%), болезней кожи и подкожной клетчатки (4,6%), почти втрое специфических женских патологий (18,5%), снижается частота сердечнососудистых заболеваний (4,6%) и болезней опорно-двигательного аппарата (13,7%) [17].

Наибольшая длительность нетрудоспособности выявлена при болезнях органов дыхания (23,1%), опорно-двигательного аппарата (14,8%), сердечно-сосудистой системы (8,9%) и женских патологий (8,5%) [23].

Анализируя вышеизложенное, можно заключить, что заболеваемость работников АПК в настоящее время остается на достаточно высоком уровне. В животноводческой отрасли преобладают заболевания органов дыхания и опорно-двигательного аппарата, причиной которых является дискомфортный микроклимат [23].

1.2 Терморегуляция и реакции организма человека на микроклиматические факторы

1.2.1 Физическая и химическая терморегуляция

В понятие микроклимат входят параметры окружающей среды: температура, влажность и скорость воздушного потока, существенно влияющие на организм человека. Надежной защитой от негативного влияния микроклиматических условий является кожный покров человека. Масса кожного покрова составляет в среднем около 20% от массы тела. При оптимальных условиях среды, кожный покров выделяет за сутки до 650г влаги и 10г углекислого газа. При критических ситуациях за час организм только через кожный покров может выделить от 1 до 3,5л воды и значительное количество солей [11].

Центральная нервная система человека для обеспечения жизнедеятельности имеет механизмы, которые до определенного предела снижают влияние вредных и опасных факторов окружающей среды. Этой проблеме посвящены научные труды отечественных физиологов Павлова И.П. и Сеченова И.М., а также отечественных гигиенистов Эрисмана Ф.Ф., Доброславина А.П. и др. [30].

Человеческий организм имеет возможность при помощи механизма терморегулирования поддерживать постоянную температуру тела. Терморегуляция - это способность организма регулировать теплообмен с окружающей средой, поддерживая температуру тела на постоянном уровне ($36,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Механизмы регулирования температуры человеческого организма разделяют на процессы химической регуляции, связанные с теплопродукцией, и процессы физической регуляции, связанные с теплоотдачей. Оба механизма управляются нервной системой [3].

Химическая терморегуляция происходит в тех случаях, когда физическая терморегуляция не обеспечивает тепловой баланс. Химическая терморегуляция заключается в изменении скорости протекания окислительно-восстановительных реакций в организме: скорости сжигания питательных веществ и, соответственно, выделяемой энергии [11].

При комфортных условиях количество вырабатываемой теплоты в единицу времени равняется количеству теплоты, отдаваемой в окружающую среду, т.е. наступает равновесие - тепловой баланс организма [16].

Неблагоприятные условия могут вызывать перенапряжение механизма терморегуляции, что ведет к перегреву или переохлаждению организма [27].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что терморегуляция организма человека связана с микроклиматическими условиями окружающей среды, отвечая на их изменение теми или иными реакциями.

1.2.2 Реакция организма человека на микроклиматические факторы

Существенную роль на жизнедеятельность человека оказывают температура и влажность воздуха [28].

К распространенному явлению, возникающему при работе в условиях низких температур, относится спазм сосудов, который характеризуется побелением кожи, потерей чувствительности, затруднением движений. В первую очередь подвержены этому процессу пальцы рук и ног, кончики ушей. В этих

местах появляются припухлость с синеватым оттенком, зуд и жжение. Подобные явления долго не исчезают и повторно происходят даже при незначительном охлаждении. Переохлаждение снижает защитные силы организма, располагает к заболеваниям органов дыхания, в первую очередь к острым респираторным заболеваниям, обострениям суставного и мышечного ревматизма, появлению крестцово-поясничного радикулита [19].

В особо тяжелых случаях воздействие низких температур приводит к отмораживанию, и даже к смерти [16].

При низкой температуре в организме наблюдается сужение сосудов, повышение обмена веществ, использование углеводных ресурсов и др. В зависимости от действия теплоты или холода значительно меняется просвет периферических сосудов. В связи с этим изменяется кровообращение: например, для кисти и предплечья при низкой температуре окружающей среды оно может уменьшиться в 4 раза, а при высокой температуре - увеличиться в 5 раз. При воздействии холода циркуляция крови перераспределяется, активизируется мышечная деятельность - появляется дрожь, «гусиная кожа» [18].

При температуре воздуха более 30°C и значительном тепловом излучении от нагретых поверхностей оборудования наступает перегрев организма, наблюдается нарастающая слабость, головная боль, шум в ушах, искажение цветового восприятия, возможен тепловой удар. Сосуды кожи резко расширяются, кожа розовеет за счет увеличения притока крови. В дальнейшем усиливается рефлекторная работа потовых желез, и влага выделяется из организма. При испарении 1 литра воды выделяется 26,6 Вт тепловой энергии. При высоких температурах происходит большая нагрузка на сердечно-сосудистую систему. При перегреве увеличивается, а затем уменьшается выделение желудочного сока, поэтому возможны заболевания желудочно-кишечного тракта. Обильное выделение пота снижает кислотный барьер кожи, от чего возникают гнойничковые заболевания. Высокая температура внешней среды усиливает степень отравлений при работе с химическими веществами [18].

Влажность более 80% нарушает процессы физической терморегуляции. Физиологически оптимальной является относительная влажность 40-60%. Относительная влажность менее 25% приводит к высыханию слизистых оболочек и снижению защитной деятельности мерцательного эпителия верхних дыхательных путей, что приводит к ослаблению организма и снижается работоспособность [29].

Человек начинает ощущать движение воздуха при скорости 0,1 м/с. Легкое движение воздуха при обычных температурах способствует хорошему самочувствию. Большая скорость движения воздуха ведет к сильному охлаждению организма. Высокая влажность воздуха и слабое движение воздуха существенно уменьшают испарение влаги с поверхности кожи. Увеличение скорости движения воздуха на 1 м/с соответствует снижению температуры воздуха на 2°С [19].

В целом факторы дискомфортного микроклимата и реакции организма человека на их сочетание можно представить в виде схемы (рис. 1.1).

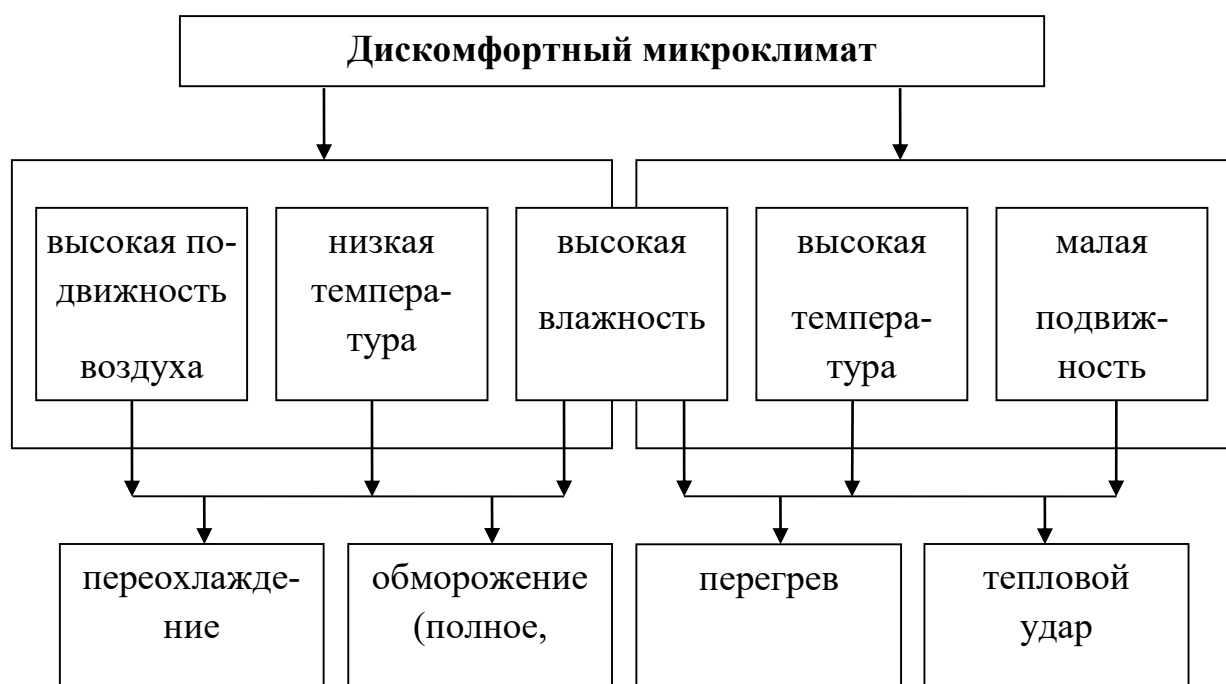


Рисунок 1.1 – Факторы дискомфортного микроклимата

Метеорологические условия определяют возможность ведения или остановки большинства работ на открытом воздухе. Метеорологические условия

могут повлиять на производительность труда, их негативное воздействие может привести к накоплению утомления и ослаблению организма и, как следствие, к несчастным случаям на производстве [15].

Таким образом, неблагоприятные микроклиматические условия могут вызвать перенапряжение механизма терморегуляции человека, способствовать развитию производственно-обусловленных заболеваний, а при работе в течение длительного времени могут привести к развитию профессиональных заболеваний.

1.3 Требования к микроклимату в животноводческих помещениях

Создание и поддержание микроклимата в животноводческих помещениях, кроме решения, проблем заболеваемости работников, направлено на решение комплекса инженерно-технических задач и наряду с полноценным кормлением является определяющим фактором в обеспечении здоровья животных, их воспроизводительной способности и получении от них максимального количества продукции высокого качества.

Современные технологии содержания животных предъявляют высокие требования к микроклимату в животноводческих помещениях. По мнению ученых, специалистов животноводства и технологов, продуктивность животных на 50-60% определяется кормами, на 15-20% - уходом и на 10-30% - микроклиматом в животноводческом помещении. Отклонение параметров микроклимата от установленных пределов приводит к сокращению удоев молока на 10-20%, прироста живой массы - на 20-33%, увеличению отхода молодняка до 5-40%, уменьшению яйценоскости кур - на 30-35%, расходу дополнительного количества кормов, сокращению срока службы оборудования, машин и самих зданий, снижению устойчивости животных к заболеваниям [13].

Воздействие различных факторов окружающей среды на организм животного проявляется в глубоких и серьезных изменениях физиологических

процессов последнего: кровообращения, дыхания, терморегуляции, газообмена и обмена веществ, что, в свою очередь, оказывает влияние на резистентность организма и, естественно, на продуктивность животных. Исследованиями установлено, что продуктивность молочных коров, например, на 70% определяется условиями окружающей среды и лишь на 30% - генетическими признаками.

В помещениях для крупного рогатого скота оптимальный температурный режим находится в пределах 8...16°C. При температуре выше 16... 22°C у животных возможно расстройство механизма терморегуляции и других физиологических функций, что приводит к снижению удоя на 25...60%, уменьшению привесов молодняка КРС на 12...30%; снижению аппетита, повышению температуры тела и кожи, учащению в 2...3 раза против нормы пульса и дыхания. В результате этого воздух больше насыщается углекислым газом и водяными парами, что способствует появлению пневмонии, септических заболеваний и т. д. Кроме того, высокие температуры окружающей среды подавляют половую функцию и, следовательно, оплодотворяемость животных.

Низкие температуры в телятниках являются одной из причин большой смертности молодняка в результате таких заболеваний, как катар верхних дыхательных путей, бронхопневмония, диспепсия и др. Это характерно особенно для первых недель жизни. Переохлаждение животных может способствовать возникновению инфекционных заболеваний [26].

Влажность окружающей среды в значительной степени оказывает влияние на терморегуляцию организма животного, и в частности на его теплоотдачу, причем высокая относительная влажность (85% и выше) отрицательно действует на организм и теплоотдачу, как при высоких температурах окружающей среды, так и при низких. Повышенная влажность угнетает обмен веществ и окислительно-восстановительные процессы в организме, снижает резистентность животных. При содержании животных в холодный период года в помещениях с высокой влажностью часто отмечаются такие заболевания, как ринит, бронхит, воспаление легких, мастит у коров, желудочно-кишечные

заболевания у молодняка. Высокая влажность способствует сохранению микроорганизмов в помещении, в том числе патогенной и грибковой микрофлоры, что часто является причиной возникновения кожных заболеваний — стригущего лишая, экземы, чесотки и др.

Теплоотдача организма зависит не только от температуры воздуха и его влажности, но и в значительной степени от скорости его движения. При низких температурах и высокой влажности увеличение скорости движения воздуха вызывает усиление теплоотдачи организма, что может привести к переохлаждению последнего; при высоких температурах подвижный воздух предохраняет животных от перегревания. Однако, молодняк сельскохозяйственных животных очень чувствителен к повышению скорости движения воздуха, поэтому в животноводческих помещениях скорость движения воздуха в зоне нахождения животных должна быть зимой в пределах от 0,2 до 0,3 м/с, летом до 1,5 м/с [24].

Общие затраты энергии на поддержание микроклимата животноводческих помещений в пределах норм составляют до 3 млн. у.е. в год, что равняется 32 % всей энергии, потребляемой в отрасли животноводства [7].

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что микроклиматические условия в животноводческих помещениях оказывают влияние на здоровье, продуктивность и способность животных к воспроизводству. Поэтому в общем комплексе задач по экономии и эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов одним из важных направлений является разработка и внедрение энергосберегающего оборудования для создания благоприятного микроклимата в животноводческих помещениях.

1.4 Энергосберегающие технологии для нормализации микроклимата

Животноводство является одним из основных потребителей энергии в сельском хозяйстве. Удельный вес энергии, потребляемой животноводством в

различные периоды времени, составляет от 17,2 до 21,3% от общего энергопотребления при производстве сельскохозяйственной продукции. В энергообеспечении стационарных процессов его доля еще больше – от 35 до 49%. Анализ потребления энергоресурсов по отраслям животноводства показывает, что фермы для содержания крупного рогатого скота являются основными потребителями энергии в животноводстве - на их долю приходится от 46 до 51,5% от общего энергопотребления в отрасли [7].

Анализ структуры затрат электрической энергии на производство молока показал, что наибольший удельный вес в общих затратах занимает энергия, потребляемая на создание и поддержание оптимального микроклимата. Ее доля, в зависимости от технологии содержания животных, находится в пределах от 34,5 до 36,8%, что сопоставимо лишь с затратами энергии на приготовление кормосмесей. Поэтому одним из основных направлений сокращения общих затрат энергии на производство молока, а следовательно, и его себестоимости является разработка и внедрение энергосберегающих технологий и оборудования для создания и поддержания нормального микроклимата на фермах [12].

Все энергосберегающие технологии можно классифицировать по принципу нормализации микроклимата (рис. 1.2).

Одно из важных направлений экономии энергоресурсов в животноводстве - утилизация теплоты, содержащейся в воздухе помещений. Тепловыделения животных составляют приблизительно 4,3 млн. т у. т. в год. Из них 0,3 млн. т образуется летом и удаляется из помещения посредством вентиляции, а 4 млн. т у. т., получается в зимний и переходный периоды года. Эта теплота может быть использована для обогрева помещений [6].

Степень покрытия дефицита мощности на обогрев животноводческих помещений с помощью теплоутилизации зависит от их назначения и климатических условий. В северных районах нашей страны для коровников этот дефицит может быть покрыт на 40-50%, т. е. использование теплоутилизаторов

представляет собой значительный источник сокращения затрат электроэнергии на теплоснабжение животноводческих помещений [5].



Рисунок 1.2 – Энергосберегающие технологии нормализации микроклимата

При этом основной составляющей экономического эффекта является экономия электрической энергии на подогрев приточного воздуха за счет возврата теплоты утилизаторами [16].

В настоящее время отечественными и зарубежными специалистами разработано достаточное количество рекуперативных теплоутилизаторов для животноводческих помещений, в которых теплообмен между удаляемым теплым воздухом и холодным приточным происходит без их непосредственного контакта - через разделительную стенку или с использованием промежуточного теплоносителя. Конструктивное исполнение рекуперативных теплообменников самое разнообразное [13].

Разработана энергосберегающая система воздухообмена в животноводческих помещениях, в которой теплообмен между приточным и удаляемым воздухом осуществляется через стенки труб, без использования промежуточного теплоносителя. Использование предлагаемой системы вентиляции позволяет производить воздухообмен в помещениях даже без подогрева приточного воздуха, независимо от температуры наружного воздуха. Подобные системы получили название «воздух-воздух» [14].

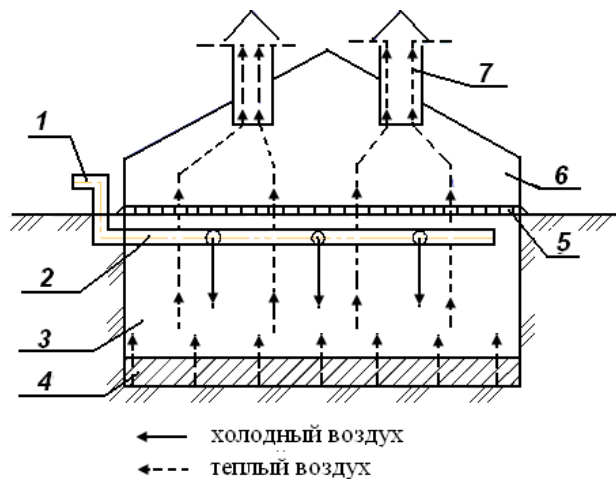
Технология подогрева приточного воздуха системами типа «воздух-воздух» или с промежуточным теплоносителем требуют реконструкции вентиляционной сети и установки дополнительного оборудования, что влечет дополнительные капитальные вложения.

Разработано несколько технологических систем с использованием в качестве компенсатора теплоты объемного подпольного навозохранилища (рис. 1.3). Система обеспечения микроклимата такой конструкции работает следующим образом. Зимой холодный воздух из внешней среды по заборным каналам без побуждения механизмами поступает вначале в верхнюю часть подпольного навозохранилища, а затем как более тяжелый опускается в нижнюю часть хранилища, что обеспечивает без затрат энергоресурсов поддержание стабильной температуры воздуха в холодное время года в зоне размещения коров от +5 до +12°C [10].

Предлагаемая система может применяться для улучшения микроклимата только в помещениях, где проектом предусмотрено подпольное навозохранилище, что ограничивает область её использования. Кроме того, воздух помещения будет загрязняться газами, образующимися при гниении навоза.

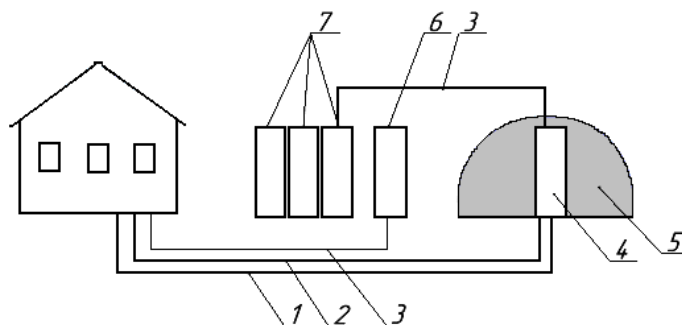
Получение тепловой энергии возможно также при активном компостировании (микробном окислении). Использование твердой биомассы и, прежде всего, твердых органических отходов (смеси трав, листьев, опилок, соломы и др.), при наличии кислорода разлагающихся с выделением теплоты, может внести существенный вклад в энергетику, в частности, в производство тепловой энергии. Этот

метод основан на процессе бактериального окисления твердых органических веществ с образованием тепловой энергии, которая повышает температуру пропускаемого через массу воздуха до 80-90°C. Один куб компостной смеси выдает от 300 до 600 Вт теплоты (рис. 1.4).



- 1 - воздухозаборный канал; 2 - воздуховод; 3 - подпольное навозохранилище;
- 4- навозная масса; 5 - щелевой пол животноводческого помещения;
- 6 - внутреннее пространство животноводческого помещения;
- 7 - вытяжные устройства

Рисунок 1.3 – Технологическая схема температурно-компенсационной системы обеспечения микроклимата с подпольным навозохранилищем



- 1 – холодная вода, 2 – теплая вода, 3 – газовая труба, 4 – стальной резервуар,
- 5 – куча компоста, 6 – аккумулятор, 7 – сборная камера

Рисунок 1.4 – Схема автономного теплоэнергообеспечения

Описанные методы активного компостирования рекомендуется использовать для обогрева теплиц, дачных домиков и подогрева воды. Возможность применения компоста для нормализации микроклимата в производственных помещениях в литературных источниках не рассматривается.

Одно из направлений энергосбережения - создание требуемого микроклимата непосредственно в зоне расположения животных с полной регенерацией воздуха в животноводческом помещении. Разработаны энергосберегающие технологии, предусматривающие очистку воздуха от аммиака, углекислого газа, сероводорода, водяных паров, микроорганизмов и пыли, реализуемые с помощью автоматизированной системы кондиционирования воздуха [16].

Описанные выше системы нормализации микроклимата с использованием кондиционирования воздуха предусматривают установку в животноводческих помещениях нового дорогостоящего оборудования, такого как сепараторы–каплеуловители, конденсаторы, средства автоматики и др., что значительно удорожает конструкцию и требует немалых затрат электроэнергии в процессе эксплуатации.

Биогазовые технологии, получившие широкое развитие в Европе, позволяют получать биодизельное топливо, биоводород, биогаз. Биогаз - смесь метана и углекислого газа – продукт метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения. Биогаз содержит около 60-70% метана, 30-35 — углекислого газа, 2-3 — азота, 1-2 — водорода и до 1% кислорода, при этом низшая теплота сгорания не превышает 6,5 кВт/м³, а метановое число составляет 110-120 [4].

К настоящему времени разработано и применяется множество технологий получения биогаза, основанных на использовании различных вариаций температурного режима, влажности, концентрации бактериальной массы, длительности протекания биореакций [27].

К термохимическим методам переработки биомассы в топливо относятся (рис. 1.5): прямое сжигание, пиролиз, газификация, сжижение, быстрый пиролиз, синтез [32].



Рисунок 1.5 – Термохимические методы переработки биомассы

Биогаз используют для освещения, отопления, приготовления пищи, приведения в действие механизмов, транспорта, электрогенераторов [31].

Анализируя биогазовые установки и комплексы, можно заключить, что все они обладают большой металлоемкостью, требуют дополнительных площадей для монтажа сложного оборудования, подвода коммуникаций, средств автоматики для обеспечения безопасности при хранении газа. В связи с этим биогазовые установки недоступны для многих сельскохозяйственных предприятий, фермерских и личных подсобных хозяйств.

В последнее время резко возрос интерес к проблеме использования солнечной энергии. Простейший коллектор солнечного излучения представляет собой зачерненный металлический (как правило, алюминиевый) лист, внутри которого располагаются трубы с циркулирующей в ней жидкостью. Нагретая за счет солнечной энергии, поглощенной коллектором, жидкость поступает для дальнейшего использования [20].

Несмотря на то, что этот источник также относится к возобновляемым энергосберегающим, одним из наиболее серьезных препятствий его реализации является низкая интенсивность солнечного излучения, высокая стоимость создания и монтажа гелиоустановок, их частые выходы из строя, необходимость охраны, что влечет дополнительные затраты.

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что наиболее доступными по стоимости реализации являются технологии с использованием теплоты, выделяемой растительными материалами в процессе компостирования.

1.5 Энергосберегающее оборудование для нормализации микроклимата

1.5.1 Классификация теплоутилизаторов

При использовании приточно-вытяжной вентиляции, как известно, происходят потери теплоты или холода. В зимнее время с вытяжным воздухом уходит теплота, а приточный воздух необходимо нагревать. Летом такая же картина происходит с охлаждаемым воздухом. Для решения этой проблемы разработали утилизаторы теплоты, позволяющие экономить энергию [12].

Теплоутилизаторы классифицируются по назначению, по принципу действия и по исполнению.

По назначению теплоутилизаторы можно объединить в следующие группы: для обогрева теплиц, жилищно-бытовых построек, производственных помещений и помещений для содержания животных (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Классификация теплоутилизаторов по назначению

По принципу действия: утилизаторы, работающие без промежуточного теплоносителя (системы «воздух-воздух»), с теплоносителем и температурно-компенсаторные (рис. 1.7).

Теплообменники системы «воздух-воздух» применяются как для производственных, так и помещений для содержания животных. К ним относятся теплоутилизаторы FRIVENT, ТУ-1М [24].

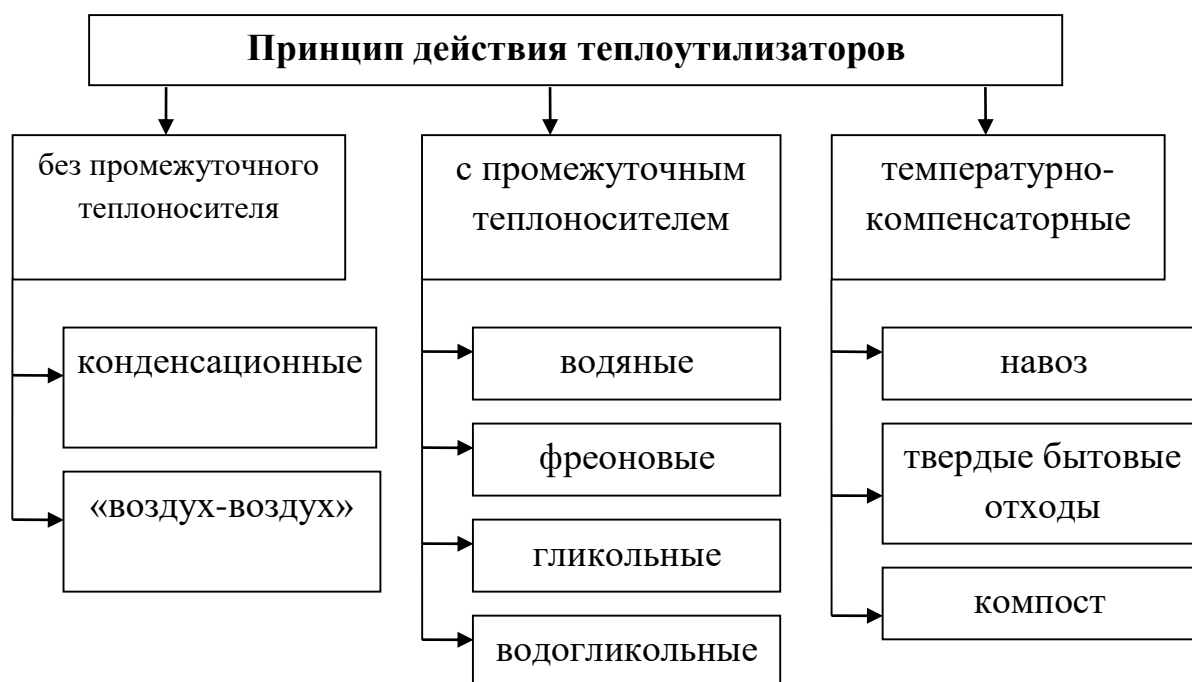


Рисунок 1.7 – Классификация теплоутилизаторов по принципу действия

Вентиляционные установки с утилизацией теплоты УТФ-12, «Агровент», «Агроклимат» работают с промежуточным теплоносителем, в качестве которого может использоваться фреон, гликоль, вода или водогликольная смесь [26].

По исполнению утилизаторы без теплоносителя выпускаются пластичные и роторные, утилизаторы с теплоносителем – пластичные. Пластинчатый теплоутилизатор представляет собой пакет алюминиевых пластин, создающих систему каналов для прохождения двух перекрестных несмешиваемых потоков воздуха. Пластинчатые теплоутилизаторы изготавливаются нескольких типов в зависимости от условий эксплуатации: для утилизации высокотемпературных источников до 300°C, для утилизации низкотемпературных источников до 70°C, для утилизации паросодержащих смесей, для утилизации смесей, содержащих мелкодисперсную, неабразивную, необволакивающую алюминиевую пыль [23].

Теплоутилизаторы, предназначенные, для обогрева производственных помещений, представляют собой систему воздуховодов, вентиляторов, конди-

ционеров, устройств автоматики, что требует затрат времени и средств на приобретение и монтаж оборудования, а также затраты электроэнергии в процессе эксплуатации [25].

Конденсационный теплоутилизатор включает в себя оросительную камеру, состоящую из корпуса, насоса с всасывающим и напорным трубопроводами с тангенциальными форсунками, сепараторов-каплеуловителей, поддона с регулятором уровня воды, электрокалорифера и конденсатора [26].

Надежная работа теплоутилизаторов в животноводческих помещениях обеспечивается правильным выбором их конструктивных параметров и режимом работы [25].

В теплоутилизаторах температурно-компенсаторных в качестве компенсатора могут использоваться подпольное навозохранилище (рис. 1.8 а), полигон твердых бытовых отходов (ТБО) (рис. 1.8 б), полузаглубленные или заглубленные хранилища растительного сырья (рис. 1.8 в) компостные кучи (бурты) (рис. 1.8 г).

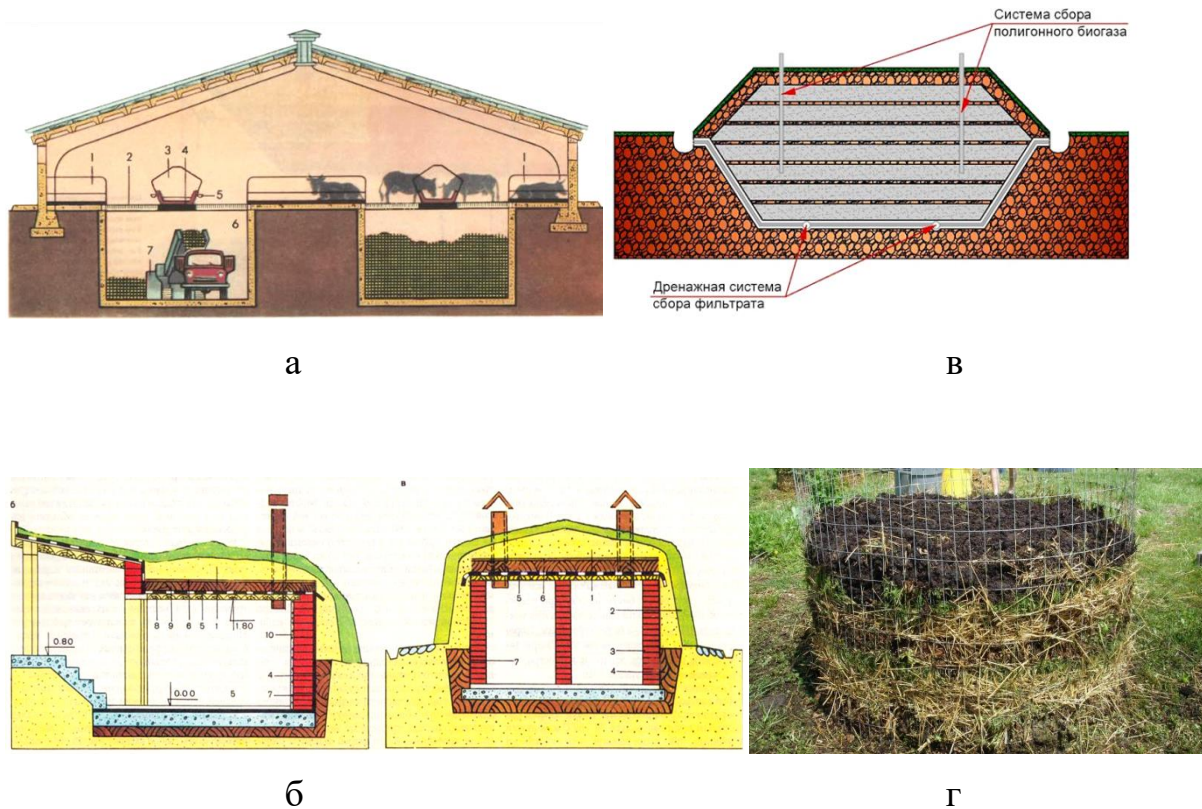


Рисунок 1.8 – Варианты способов закладки растительного сырья в компост

Теплоутилизаторы, использующие теплоту компостных буртов растительного сырья или твердых бытовых отходов, не нашли применения для отопления производственных помещений и помещений для содержания животных. Они относятся к энергосберегающей технологии использования теплоты, выделяющейся при компостировании органики [24].

Таким образом, в настоящее время разработаны различные энергосберегающие методы и оборудование, для обеспечения оптимального микроклимата на животноводческих фермах и комплексах. Часть этого оборудования требует совершенствования и проверки эффективности использования в практических условиях, часть - отличается металлоемкостью и сложностью обслуживания. Из всех перечисленных методов заслуживает внимания использование теплоты, образующейся при разложении растительного сырья. В связи с этим необходимо углубленное рассмотрение процессов, протекающих при хранении растительных материалов.

1.5.2 Термогенез растительного сырья

Термогенез – это саморазогревание растительных материалов при хранении (зерна, силоса, отходов навоза и др.) при определенном сочетании температуры и влажности под действием микроорганизмов [6].

В процессе хранения растительного материала повышенной влажности сначала идет активное размножение неспорозоных палочек, затем появляются термостойкие микрококки и, образующие полосы белые колонии, плесневые грибы, актиномицеты. Дальнейшее развитие процесса самосогревания (свыше 40 – 50°C) способствует развитию спорообразующих и термофильных бактерий. Термофильные бактерии – обладают способностью размножаться при температуре более 60°C. Жизнь термофильных бактерий протекает в теплых минеральных источниках, в разлагающемся силосе, сене, навозе и т.д. В зависимости от температуры у термофильных бактерий происходят морфологические изменения: при температуре равной 50°C бацилл образует коротенькие палочки, при температуре равной 60°C появляются нитчатые формы, при

температуре равной 70°C они встречаются почти исключительно. При температуре менее 42°C развитие не происходит, они находятся в стадии покоя [28].

Рассмотрим явление термогенеза при компостировании. Компостирование – управляемый аэробный биологический процесс, при котором растительные и другие органические материалы разлагаются на составные части.

Чем разнообразнее материалы, тем активнее идет компостирование. Для компостирования пригодны следующие материалы: скошенная трава, листья, ветки, щепки, опилки, стружка, бумага, помет, навоз и прочее. В связи с этим компосты подразделяют на виды: торфонавозный, компост из листьев, компост из навоза, из ветвей и т.д. [24].

Процесс компостирования идёт в несколько фаз. В первой фазе происходит самосогревание в результате химических реакции окисления (разложения) при интенсивном развитии бактерий и других микроорганизмов. Во второй фазе происходит разложение трудно разлагаемых материалов, температура начинает понижаться. В третьей фазе получается зрелый компост [31].

Технологии компостирования представлены на рисунке 1.9.

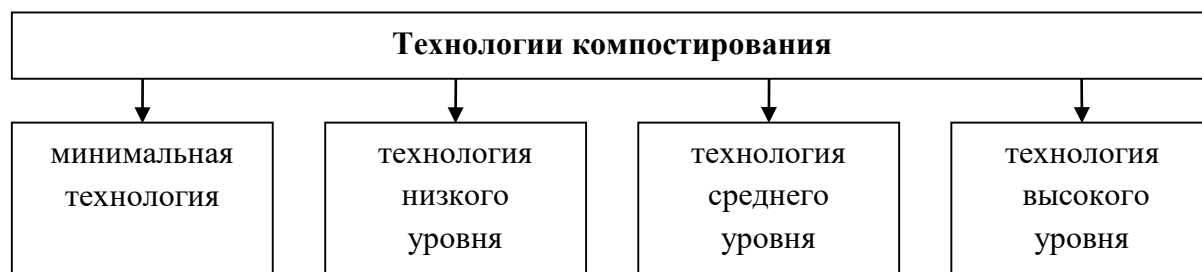


Рисунок 1.9 – Технологии компостирования

Минимальная технология предполагает закладку компостных куч высотой 4 м, шириной 6 м с переворотом материала 1 раз в год. Технология низкого уровня требует переворота компостируемого материала через 1 месяц, а затем через 11 месяцев, компостируемые кучи имеют высоту 2 м и ширину 3-4 м. Технология среднего уровня предусматривает ежедневное перемешивание материала. Технология высокого уровня требует аэрации куч с целью равномерного доступа кислорода в слои [24].

Отходы растительного происхождения содержат различные по химическому составу и строению группы веществ: лигнины, целлюлозы, гемицеллюлозы, пектиновые и дубильные вещества, белки. Некоторые из них, такие как лигнины, обладают способностью длительное время противостоять разрушению микроорганизмами, не подвергаясь разложению. Поэтому одна из задач компостирования состоит в снижении количества этих веществ при помощи активации микробиологических процессов. Разложение сырья начинается летом через 3-5 дней, зимой через 25-30 дней после закладки штабеля. Компостирование считается законченным, когда прекращается саморазогревание и устанавливается постоянная температура. В среднем в Европейской части России этот процесс идет 15-18 месяцев [28].

Для приготовления компоста применяют различные способы и оборудование. Растительное сырьё измельчают и подают в биореактор, представляющий собой бетонную траншею с каналами для отвода влаги и подачи подогретого воздуха. Плотность заложения не должна превышать 150 кг/м^3 для свободного прохождения жидких компонентов. Затем сырьё поливается жидким навозом. Влажность сырья составляет $65 \pm 25\%$, температура - $15 \pm 5\%$. Через несколько суток температура смеси достигает 60°C [25].

Более сложный способ компостирования применен в устройстве, содержащем терморектор, биофильтр, флотатор, емкость готовой продукции. Влажность исходного сырья должна быть 80%. Температура при работе установки по компостированию доходит до 60°C [22].

Повышение температуры можно наблюдать и в процессе приготовления силоса. Искусство силосования, как способ сохранения сочных кормов, было известно с давних пор, хотя сложные биохимические и микробиологические изменения, которые происходят при процессах силосования, стали понятны сравнительно недавно [28].

Существует два способа силосования: холодный и горячий. При холодном способе силосования созревание силоса идет при умеренном повышении

температуры, доходящем в некоторых слоях корма до 40°C. При горячем способе силосное сооружение заполняют по частям. Зеленую массу на один - два дня рыхло укладывают слоем от 1 до 1,5 м. При большом количестве воздуха в ней развиваются энергичные микробиологические и ферментные процессы, в результате чего температура корма поднимается до 45-50°C. Затем укладывают второй слой такой же толщины, как и первый, и он, в свою очередь, подвергается разогреванию. Холодный способ силосования наиболее распространен, что объясняется как сравнительной его простотой, так и хорошим качеством получающегося корма. Горячий способ силосования допустим лишь для квашения грубостебельчатых, малоценных кормов, которые после разогревания лучше поедаются скотом [6].

Для получения качественного силоса необходимо создать условия для развития молочно-кислых бактерий. Молочнокислые бактерии активно развиваются без доступа воздуха. Создаваемая их деятельностью кислотность среды устраняет развитие гнилостных и маслянокислых бактерий. Анаэробные условия создаются уплотнением массы с последующей герметизацией хранилища [25].

Если масса плохо трамбуется, в ней остается воздух, а это ведет к чрезмерному самосогреванию силоса. Термогенез отрицательно влияет на качество корма. Оптимальный температурный режим (от 35 до 37°C) обеспечивается при объемной массе 400 кг/м³, при объемной массе выше 600 кг/м³ подъема температуры не наблюдается, а при объемной массе 250 кг/м³ температура достигает 65°C при хранении [6].

Кроме молочнокислых в силосуемой массе имеются и другие виды микроорганизмов, способных отрицательно влиять на качество получаемого корма: маслянокислые, уксуснокислые, гнилостные, различные плесени [29].

На основании вышеизложенного можно заключить, что в растительном сырье, заложенном на компост, отмечено повышение температуры до 70°C за счет микробиологических процессов. Термогенез характерен и для некаче-

ственного силоса с развитым процессом гниения в результате развития маслянокислых бактерий и при наличии в массе воздуха. Активное вентилирование ускоряет процесс термогенеза.

1.6 Методы контроля температуры в растительном сырье

Так как термогенез растительного сырья приводит не только к его самогреванию, но может вызвать в конечном итоге самовозгорание и самовоспламенение, необходимо контролировать изменение температуры в процессе компостирования или хранения [25].

Для раннего обнаружения очагов самонагревания растительного сырья в хранилищах могут быть использованы следующие методы: измерение градиента температур (система УДКТ - устройство дистанционного контроля температуры) или определение содержания индикаторных газов (CO и H_2) в надсводном пространстве хранилищ. При размещении термодатчиков систем типа УДКТ по центральной оси силоса (бункера) с шагом расположения датчиков 2 м при абсолютной погрешности системы измерения температуры от 1 до 3°С контролируется от 1/3 до 2/3 объёма силоса (бункера) [25].

Радиус чувствительности датчика температуры – это наибольшее расстояние, на котором датчик фиксирует рост температуры, превышающий рост фоновой температуры, при условии, что в центре очага температура достигла пожароопасного значения 100°С. Для повышения эффективности системы температурного контроля необходимо совершенствовать схему размещения датчиков. Поскольку датчик контролирует массу сырья, заключённую внутри сферы радиуса чувствительности датчика r , размещение датчиков в объёме хранилища сводится к задаче перекрытия объёма минимальным числом шаров одинакового радиуса. Наименьшее количество датчиков получается в случае пространственно-центрированной кубической решётки, которая образуется из точек обычной кубической решётки добавлением к ней центров всех кубов [27].

Метод газового анализа при термоокислительной деструкции растительного сырья основан на регистрации выделения горючих (H_2 , CH_2 , CO , CH_4) и негорючих (CO_2) газов, состав и количество которых изменяется в зависимости от состояния очага в массе продукта и определяют стадию опасности очага (самонагревание, самовозгорание, горение) [27].

Анализ данных по изменению состава газообразных продуктов термоокислительной деструкции растительного сырья в насыпи при изменении температуры показывает, что в качестве индикаторных газов на стадии самонагревания могут служить водород и оксид углерода в концентрациях до 1 % об; если концентрация водорода и оксида углерода превышает 1% об. и при этом ещё регистрируется в газовой пробе метан, то это значит, что температура очага уже превышает 250-270°C, в насыпи растительного сырья идёт процесс горения (тления) [25].

Каждый из этих методов обладает рядом недостатков. Метод, основанный на измерении градиента температур (система УДКТ), позволяет контролировать горизонтальное пластовое самонагревание и охватывает далеко неполный объём хранилища. Метод газового анализа, хотя и является оперативным методом обнаружения самонагревания и самовозгорания, но является интегральным (по силосу) и не позволяет определить место очага в силосе.

Можно заключить, что контроль температуры в растительном сырье с помощью датчиков наиболее прост и доступен к применению.

2 Результаты экспериментальных исследований

2.1 Влияние микроклиматических условий на заболеваемость

2.1.1 Результаты исследования микроклимата и чистоты воздуха в животноводческом помещении

Анализ микроклимата выполнен по результатам измерения температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха приборами по стандартным методикам.

Измерения проводились в летнее время, когда в основном животные находятся на пастбищном содержании, и в период стойлового содержания.

Площадь животноводческих помещений, в которых проводились замеры, в среднем составляет 1500 м².

Результаты измерений температуры и влажности воздуха по контрольным точкам в зимний период года приведены в приложении А, таблица 1.

На рисунке 2.1 приведены усредненные значения изменения температуры и относительной влажности по контрольным точкам.

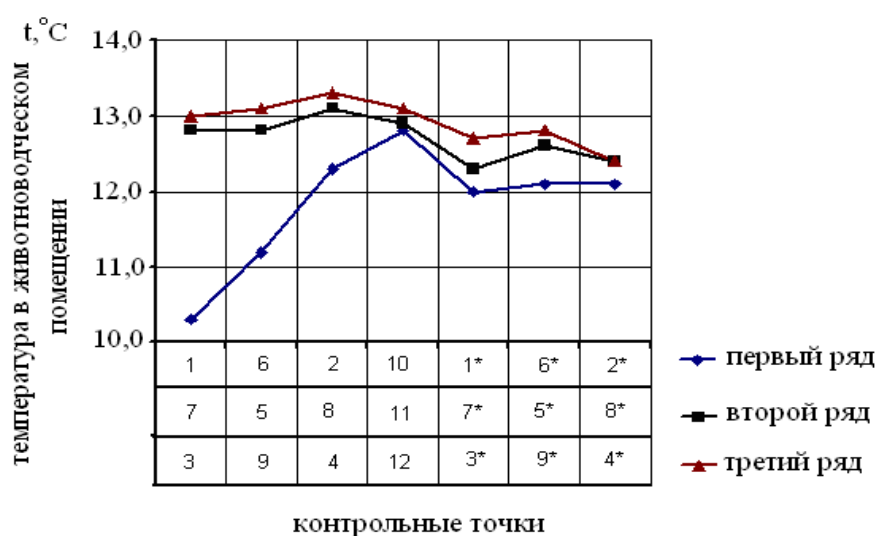


Рисунок 2.1 – Значения температуры по контрольным точкам в животноводческом помещении в зимний период

Анализируя рисунок 2.1, можно сделать вывод, что распределение температуры по площади животноводческого помещения достаточно равномерно во втором и третьем ряду, в первом ряду наблюдается перепад температуры от 10,3 до 12,8 °С.

На рис. 2.2 и в приложении А, таблица 3 представлены результаты измерения параметров температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в точках № 1-5 (см. рис. 3.5) в зависимости от высоты размещения прибора в основных точках для переходного периода года.

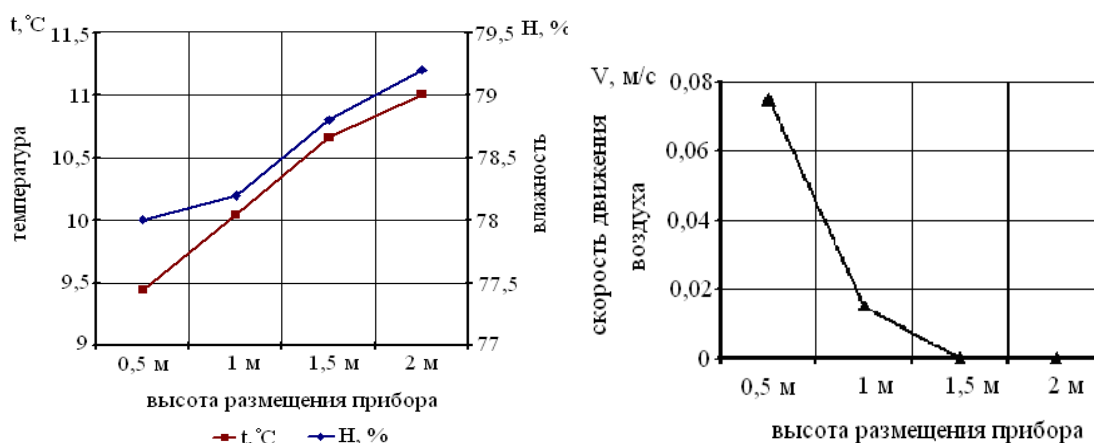


Рисунок 2.2 - Усредненные значения параметров микроклимата в зависимости от высоты размещения прибора для переходного периода года

Анализируя рисунок 2.2, можно сделать вывод, что температура, влажность по высоте незначительно увеличивается, а скорость движения воздуха по высоте незначительно уменьшается.

На рисунке 2.3 и в приложении А, таблица 4 и представлены результаты измерения параметров температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в основных точках для летнего периода года.

Из значений на рисунке 2.3, можно сделать вывод, что распределение температуры по площади животноводческого помещения достаточно равномерно, перепад температуры наблюдается лишь в первом ряду от 22,7 до 23,4 °С.

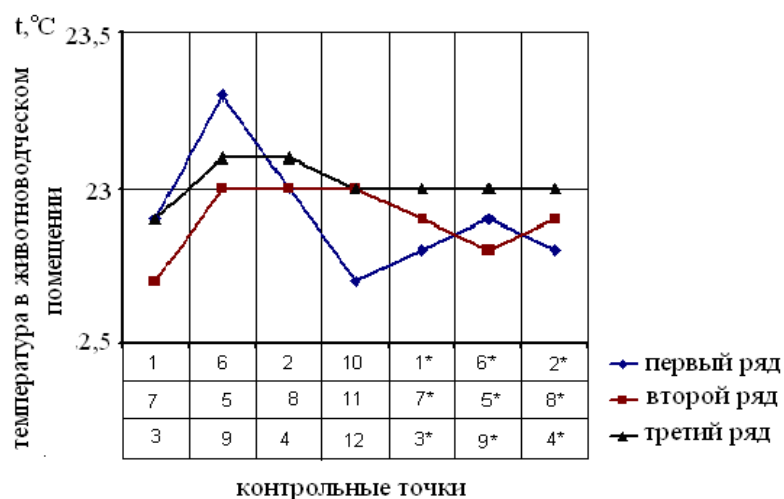


Рисунок 2.3 - Значения параметров микроклимата в животноводческом помещении по контрольным точкам для летнего периода года

На рисунке 2.4 и в приложении А, таблица 6 представлены усредненные результаты измерения параметров температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в точках № 1-5 в зависимости от высоты размещения прибора в основных точках для летнего периода года.

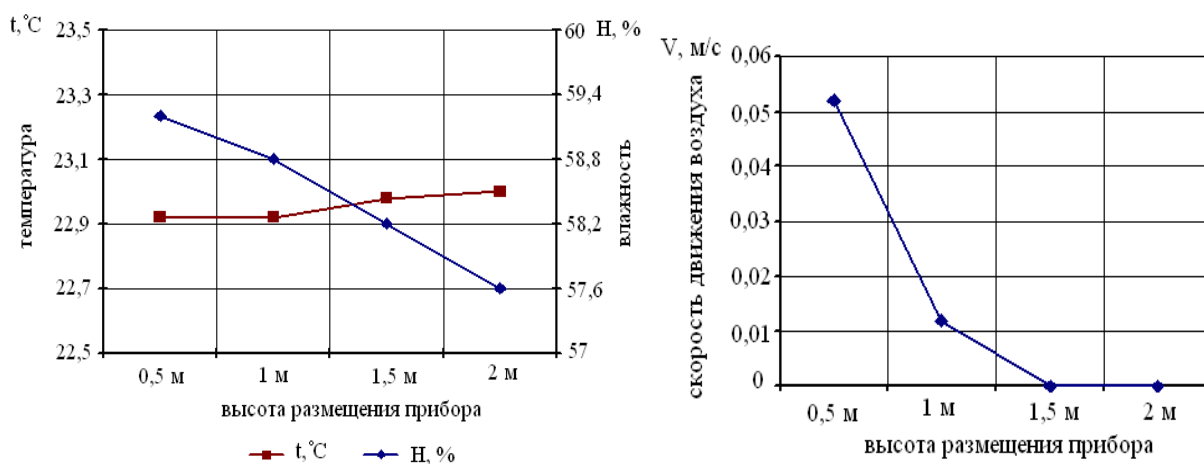


Рисунок 2.4 - Усредненные значения параметров микроклимата в зависимости от высоты размещения прибора для летнего периода года

Из рисунка 2.4 видно, что температура, влажность по высоте незначительно увеличивается, а скорость движения воздуха - незначительно уменьшается.

Анализ микроклиматических условий в молочном блоке и бытовом помещении, площадь которых составляет 54 м² и 12 м² соответственно, был проведен диагональным методом. Приборный анализ проводился как в летнее, так и в зимнее время года.

Результаты замеров в молочном блоке в летнее время года приведены на рисунке 2.5 и в приложении А, таблица 7.



Рисунок 2.5 - Значения изменений температуры в молочном блоке в летнее время года

Анализируя рисунок 2.5, делаем вывод о том, что температура в точках №1-5 в молочном блоке изменяется от 19 °C (в точках 3, 4, 5, расположенных на расстоянии от внешней стены с оконными проемами) до 21 °C (в точках 1 и 2, расположенных у внешней стены с оконными проемами).

Результаты замеров в молочном блоке в зимнее время года приведены на рисунке 2.6 и в приложении А, таблица 8.

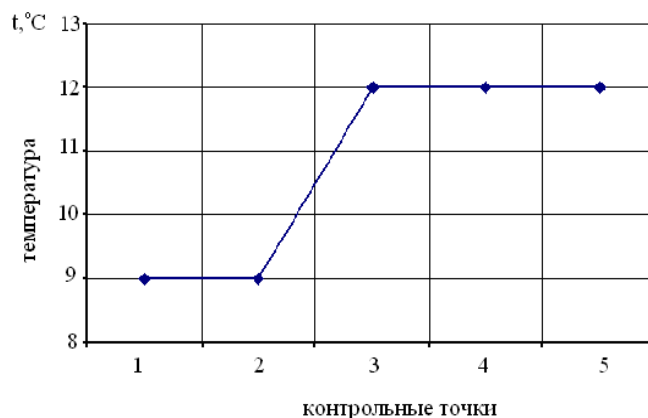


Рисунок 2.6 - Значения изменений температуры в молочном блоке в зимнее время года

Из рисунка 2.6 видно, что температура в молочном блоке в точках №3-5, удаленных от окон, практически одинаковая и составляет 12 °С, а в точках №1-2, расположенных у оконных проемов, температура составила 9 °С.

Результаты замеров в бытовом блоке в летнее время года показали, что температура и влажность не изменяются, их значения составляют 21°С и 84% соответственно (приложении А, таблица 9).

Результаты замеров в бытовом блоке в зимнее время года, приведенные в приложении А, таблица 10, показали, что температура и влажность не меняются, их значения составляют 14°С и 78% соответственно.

Анализ загазованности проводился в переходный период года при предварительных замерах метеоусловий вне животноводческих помещений и микроклиматических условий внутри помещения. Результаты измерений приведены в приложении А, таблица 11. Анализируя полученные значения, делаем вывод о том, что они меньше предельно допустимых значений по сероводороду и двуокиси углерода. Загазованность по аммиаку превышает предельно допустимую концентрацию [25].

Запыленность измерялась по контрольным точкам при размещении прибора на высоте 1,5 м от пола. Предварительно измерялись параметры метеоусловий. Результаты измерения запыленности в летнее время приведены на рисунке 2.7 и в приложении А, таблица 12.

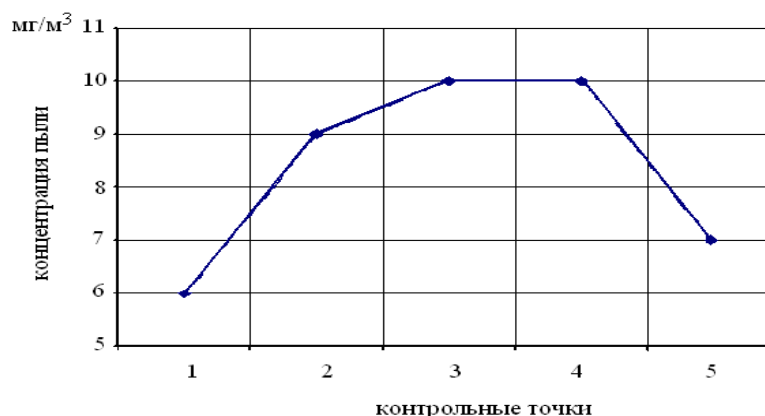


Рисунок 2.7 - Значения измерений запыленности в летнее время года

Анализируя рисунок 2.7, делаем вывод о том, что в бытовом блоке в летнее время запыленность воздуха в точках изменяется от 6 до 10 мг/м³, что превышает ПДК. Повышенная запыленность в летнее время объясняется наличием естественной вентиляции (аэрации).

Результаты измерения запыленности в зимнее время приведены на рисунке 2.8 и в приложении А таблица 13.

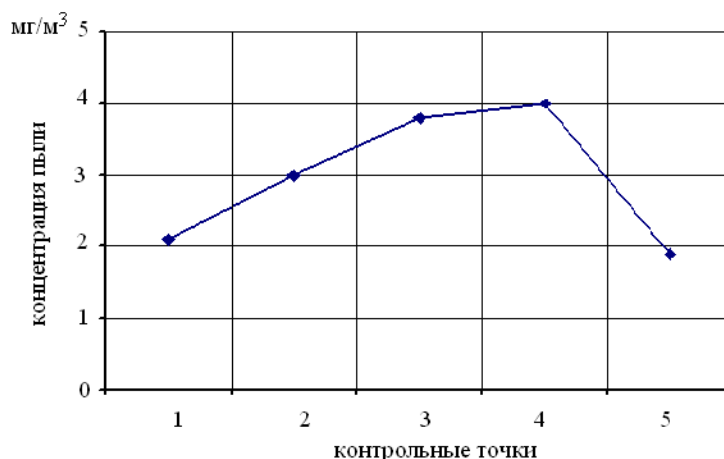


Рисунок 2.8 - Значения изменения запыленности в зимнее время года

В бытовом блоке в летнее время запыленность воздуха в точках изменяется от 2 до 4 мг/м³ и не превышает ПДК.

Все замеры проводились на высоте 1,5 м от пола, так как именно эта высота рекомендуется для размещения приборов при оценке рабочего места [25].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что микроклимат во всех помещениях существенно отличается от рекомендуемых санитарными нормами значений [16, 7], особенно в зимнее время и требует проведения мероприятий по его нормализации.

2.1.2 Результаты исследования заболеваемости

Жизнедеятельность человека нормально протекает при условии сохранения температурного гомеостаза, который обеспечивается механизмами терморегуляции и деятельностью различных систем организма, участвующих в ней

– сердечнососудистой, дыхательной, выделительной, эндокринной; энергетического, водно-солевого и белкового обменов [28].

При нормальных условиях внешней среды и при установившемся динамическом равновесии процесса терморегуляции колебания температуры тела (ректальной) находится в пределах $37,2 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Температура кожи наиболее тесно связана с теплоощущениями человека и может служить показателем степени его охлаждения [29].

При воздействии низкой температуры в организме человека развиваются сложные защитные и адаптационные реакции, позволяющие в течение некоторого времени сохранять нормальную температуру тела. Если работник практически полный рабочий день находится в условиях низких температур, то истощается система, отвечающая за адаптацию, и температура тела начинает снижаться [8].

При хронической холодовой травме происходят необратимые процессы в организме человека, отмечается обострение уже имеющихся хронических заболеваний [28].

Воздействие даже умеренного холода на организм человека могут возникать очень тяжелые повреждения [4].

Получение и обработка анкетных данных методом ранговой корреляции проводилось в несколько этапов.

Первый этап – сбор мнений работников путем анкетного опроса. Для оценки влияния неблагоприятных факторов, снижающих работоспособность и наносящих вред здоровью работников выбраны дискомфортные температура X_1 , влажность X_2 , давление X_4 , повышенные уровни шума и вибрации X_3 , недостаточная освещенность X_5 .

Оценка значимости данных параметров модели проводится методом ранговой корреляции. Каждый фактор имеет ряд градаций (рангов): если он наиболее значим - ему присваивается ранг 1, менее значимый – ранг 5.

Второй этап – составление сводной матрицы рангов на основе данных анкетного опроса (приложение А, таблица 16).

Так как в матрице имеются связанные ранги, необходимо произвести их переформирование (приложение А, таблица 17).

Учитывая значения переформированных рангов, составляем новую матрицу рангов (приложение А, таблица 18).

Показатели рейтинговой оценки D_j определялись по формуле

$$D_j = \sum_{i=1}^m X_i - \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m X_{ij}}{n} \quad (2.1)$$

$$S = \sum_{j=1}^n D_j^2 \quad (2.2)$$

где m – число опрашиваемых работников предприятия;

n – число неблагоприятных факторов;

S – сумма квадратов отклонений суммы рангов каждого фактора от среднеарифметического ранга;

X_{ij} – ранг j -го фактора у i -го работника.

Проверка правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы

$$\sum_{j=1}^n X_j = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{(1+5) \cdot 5}{2} = 15 \quad (2.3)$$

Суммы всех столбцов матрицы равны между собой и контрольной сумме, следовательно, матрица составлена правильно.

Третий этап – анализ значимости исследуемых факторов. Согласно условиям ранжирования факторы с наименьшей суммой рангов имеет наибольшее значение, а фактор с наибольшей суммой рангов оценивается как наименее важный.

Распределение факторов по значимости приобретает вид, представленный в таблица 2.1.

Таблица 2.1 - Распределение факторов по значимости

Неблагоприятные факторы	Сумма рангов
Дискомфортная температура (X_1)	22,5
Дискомфортная влажность (X_2)	26,5
Повышенное давление (X_4)	27
Повышенный уровень шума и вибрации (X_3)	32
Недостаточная освещенность (X_5)	42

Графическая интерпретация распределения сумм рангов представлена на рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 - Распределение сумм рангов

Из графика распределения сумм рангов видно, что, чем ближе значения сумм рангов к прямой линии, тем более согласовано мнение работников (факторы X_1, X_2).

Полученные оценки факторов можно считать достаточно надежными только при условии хорошей согласованности работников, для чего производится обобщение мнений опрашиваемых работников (оценка средней согласованности мнений) путем вычисления коэффициента конкордации W (формула 2.4). Коэффициент конкордации может принимать значения от 0 (при отсутствии согласованности) до 1 (при полной согласованности мнений).

Поскольку в матрице имеются связанные ранги, то коэффициент конкордации W рассчитывается по формуле 3.4, при этом по формуле 3.7 $\sum_{i=1}^m T_i = 9,5$, тогда

$$W = \frac{225,5}{\frac{1}{12} 10^2 (5^3 - 5) - 20 \cdot 9,5} = 0,25$$

Значение $W = 0,25$ говорит о наличии определенной степени согласованности мнений работников. Существенность значения коэффициента конкордации устанавливается с помощью критерия χ^2 (распределение Пирсона), который вычисляется по следующей формуле 3.8 (при наличии связанных рангов).

Значение χ^2 сравнивают с его табличным значением для соответствующего числа степеней свободы $k = n-1$ (числа данных факторов из выборки, значения которых могут быть случайными) и при заданном уровне достоверности $p=0,05$ (надежность 95%). По таблице критических точек распределения Пирсона по уровню значимости $p= 0,05$ и числу степеней свободы $k = 5-1= 4$ находим критическую точку $\chi^2_{\text{табл}}(0,05;4) = 9,49$.

При $\chi^2_{\text{расч.}} > \chi^2_{\text{табл.}}$ степень согласия между работниками не вызывает сомнения

$$\chi^2 = \frac{225,5}{\frac{1}{12} 10 \cdot 5 \cdot (5+1) - \frac{1}{5-1} \cdot 9,5} = 9,96$$

Таким образом, $\chi^2_{\text{расч.}}=9,96$. При $\chi^2_{\text{расч.}} > \chi^2_{\text{табл.}}$ степень согласия между экспертами не вызывает сомнения. Так как $\chi^2_{\text{расч.}} = 9,96 > \chi^2_{\text{табл.}} = 9,49$, то значение $W = 0,25$ есть величина, которая действительно характеризует наличие определенной степени согласованности мнений работников.

В результате проведенного анкетного исследования можно сделать вывод, что значимыми факторами, неблагоприятно влияющими на работоспособность рабочих, являются: дискомфортные температура (X_1) и влажность

(X_2), повышенное давление (X_4), повышенный уровень шума и вибрации (X_3), недостаточная освещенность (X_5). Доминирующими являются дискомфортные температуры и относительная влажность воздуха.

2.2 Влияние физико-химических свойств растительных материалов на процесс термогенеза

2.2.1 Результаты исследования температуры, плотности и кислотности растительного сырья

Термогенез растительного сырья происходит в процессе жизнедеятельности микроорганизмов и адсорбции влаги.

Зависимость температуры самонагрева растительных материалов от плотности укладки, толщины слоя, влажности сырья выявлялась в ходе лабораторных опытов, проведенных в два этапа.

Первый этап лабораторных опытов заключался в том, что в пятилитровые емкости заложили готовый силос объемом 0,0046 м³ и теплоизолировали в таблице 2.2.

В результате проведенных замеров в течение 60 дней в исследуемых пробах температура заложенного сырья достигала максимальных значений, указанных в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Значения максимальных температур в исследуемых пробах

№ пробы	1	2	3	4	5	6
Максимальное значение температуры, °С	26	26	64	58	40	37

Проанализировав первый этап лабораторного опыта, выявили, что максимальный разогрев силоса произошел в пробе № 3, где емкость была утеплена и обернута черной полиэтиленовой пленкой, а газоотводная трубка расположена на высоте 13 см.

Для проверки необходимой плотности силоса и уровня кислотности, вызывающей максимальный подъем температуры, были проанализированы результаты второго лабораторного опыта.

В результате проведенных замеров в течение 60 дней отмечено, что в исследуемых пробах температура и уровень кислотности рН заложенного сырья достигали значений, указанных в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения максимальных температур и уровня кислотности в исследуемых пробах

№ пробы	1*	2*	3*	4*	5*
Максимальное значение температуры, °С	44	64	57	31	26
Максимальное значение кислотности, рН	1,8	2,1	3,4	3,9	4,2

Изучение литературных источников показало, что жизнедеятельность микроорганизмов в заложенном на хранение растительном материале или компосте напрямую связана с кислотностью среды.

Так, например, в силосе гнилостные бактерии развиваются при доступе кислорода и, разлагая массу, делают её непригодной к скармливанию. Гниение сопровождается явлением термогенеза [1, 14, 28].

На рисунке 2.10 приведено изменение температуры силоса в зависимости от толщины слоя при плотности заложения 200 мг/м³. Результаты инструментальных замеров приведены в приложении А, таблица 15.

Рассмотрев зависимость температуры в растительной массе от толщины слоя (рис. 2.10) делаем вывод о том, что хороший разогрев массы (более 50°С) наблюдается при толщине слоя от 50 до 200 мм и достигает максимального значения при толщине слоя 120 мм.

На рисунке 2.11 представлена зависимость изменения кислотности силоса в зависимости от толщины слоя при плотности заложения 200 мг/м³. Результаты инструментальных измерений приведены в приложении А, таблица 12.

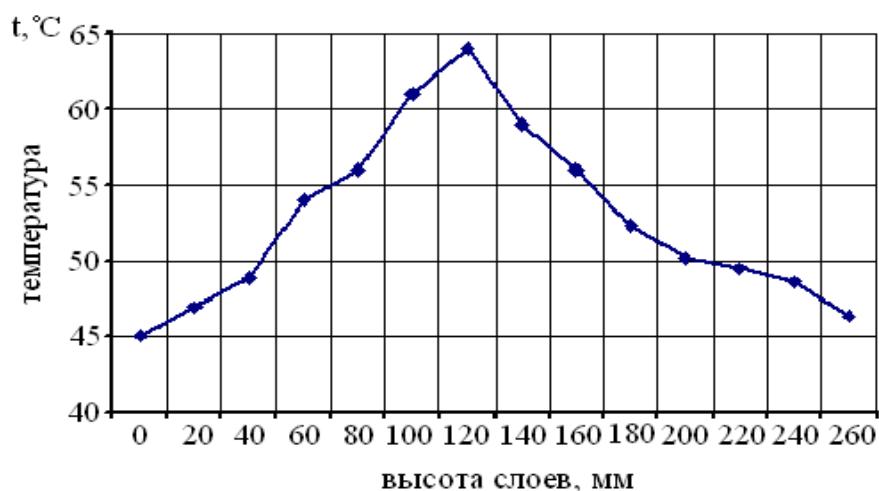


Рисунок 2.10 - Зависимость температуры в растительной массе от толщины экспериментального слоя

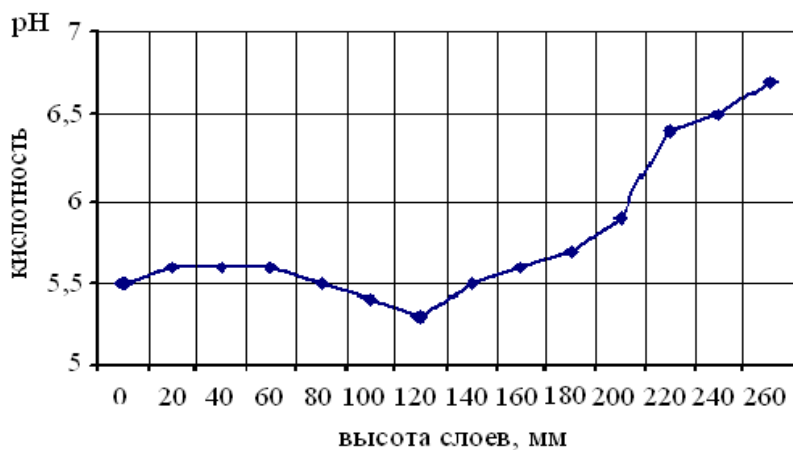


Рисунок 2.11 - Зависимость кислотности от толщины экспериментального слоя растительной массы

Анализируя зависимость кислотности от толщины слоя растительной массы делаем вывод о том, что в слоях, где идет наиболее интенсивный процесс гниения и тепловыделения (от 50 до 200 мм), кислотность имеет значения от 5,3 до 5,9. Из литературных источников известно, что при таких значениях аммиак практически не выделяется.

В свежескошенной растительной массе преобладают гнилостные бактерии. Именно гнилостные бактерии вызывают разогрев сырья и могут привести к его самовозгоранию. Самовозгорание веществ предупреждается исключением аккумуляции теплоты, хорошим вентилированием и теплоотводом.

Из анализа формул возможности самовозгорания (2.7) и (2.8) можно заключить, что температура окружающей среды для определения толщины слоя и времени самовозгорания должна быть больше 0°C , так как подлогарифмическая функция не может быть отрицательна или равна нулю.

На основании этого нами разработана номограмма для определения времени самовозгорания от толщины слоя после достижения температуры самовозгорания в зависимости от вида материала (рис. 2.12).

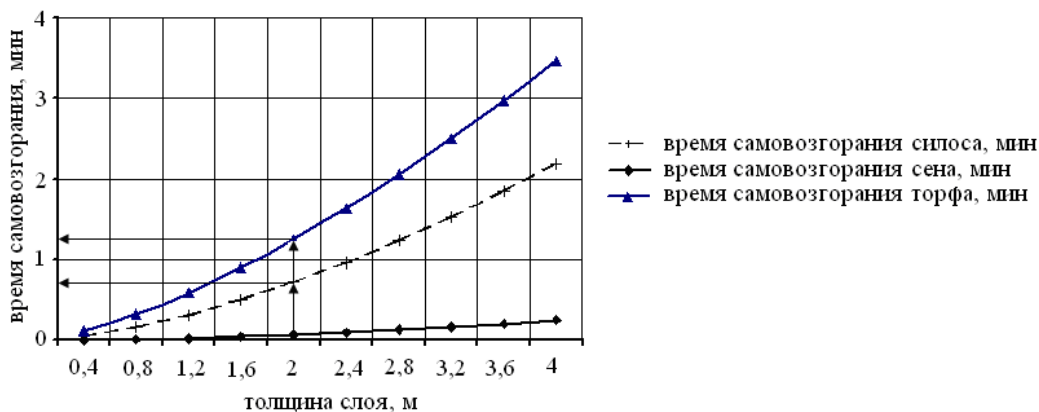


Рисунок 2.12 – Номограмма для определения времени самовозгорания растительного сырья

Анализ номограммы для определения времени самовозгорания от толщины слоя показал, что чем толще слой растительного сырья, тем самовозгорание происходит медленнее. Из номограммы видим, что наиболее подвержено самовозгоранию сено, время его самовозгорания после достижения температуры 204°C находится в пределах от 0,1 до 0,2 мин, для толщины слоя от 0,4 до 4м. Наименее подвержено самовозгоранию сенокос, время его самовозгорания после достижения температуры 265°C составляет от 0,1 до 2,2 мин, для толщины слоя от 0,4 до 4м.

2.2.2 Результаты исследования процесса гниения

В процессе созревания сенокоса различают три микробиологические фазы. Первая фаза характеризуется размножением смешанной микрофлоры с некоторым преобладанием гнилостных аэробных неспорных бактерий. Вторая

фаза созревания силоса характеризуется бурным размножением молочнокислых микробов, причем вначале развиваются преимущественно кокковые формы, которые затем сменяются молочнокислыми бактериями. Третья фаза характеризуется постепенным отмиранием в силосе молочнокислых микробов из-за высокой концентрации молочной кислоты - 2,5 % [1].

Динамика изменения кислотности, температуры и влажности в первой фазе приведена на рисунке 2.13. Продолжительность первой фазы принимается 4 дня или 96 часов.

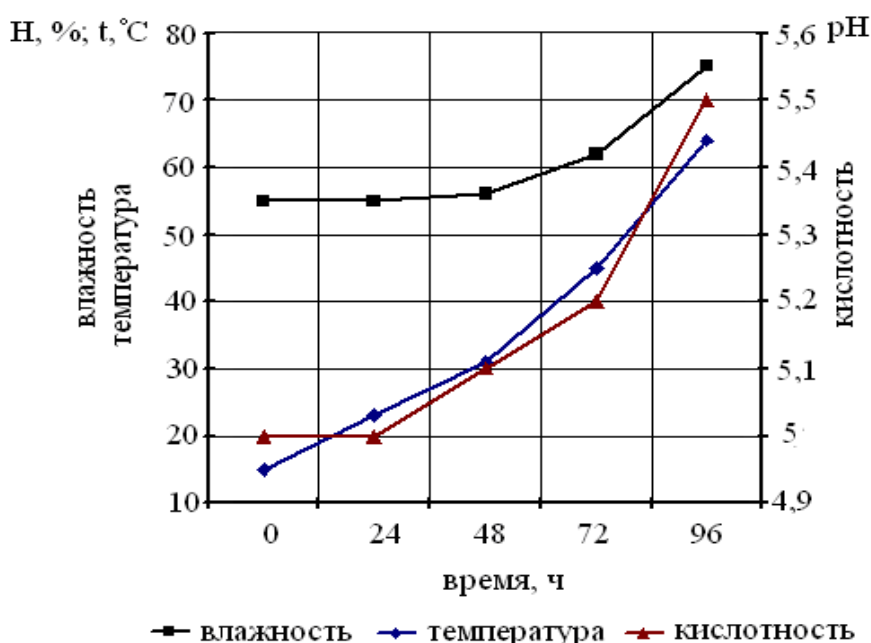


Рисунок 2.13 – Динамика изменения кислотности, температуры и влажности в первой фазе силосования

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 2.13, можно сделать вывод, что закладка силоса при недостаточном уплотнении характеризуется изменением кислотности от 5 до 5,5, повышением температуры до 64 °C и влажности до 75 %. Изменение параметров носит экспоненциальный характер.

Динамика изменения кислотности, температуры и влажности во второй фазе хранения силоса (от 96 до 432 часов) приведена на рисунке 2.14.

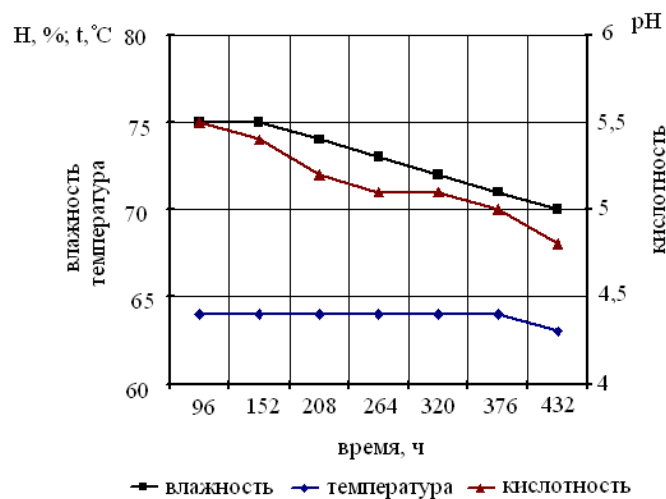


Рисунок 2.14 –Изменения кислотности, температуры и влажности от времени во второй фазе силосования

Анализируя полученные зависимости, можно заключить, что показатель pH изменяется от 5,5 до 4,8, температура изменяется от 64 до 61°C, влажность снижается с 75% до 70%.

Без аэрации после 376 часов хранения наблюдается постепенное снижение температуры. Подача воздуха в компостируемую массу активизирует микробиологические процессы, при этом возобновляется повышение температуры.

Проследим послойное распределение теплоты в растительной массе.

Изменение теплоты происходит согласно экспоненциальному закону $c=1,2693e^{0,141t}$.

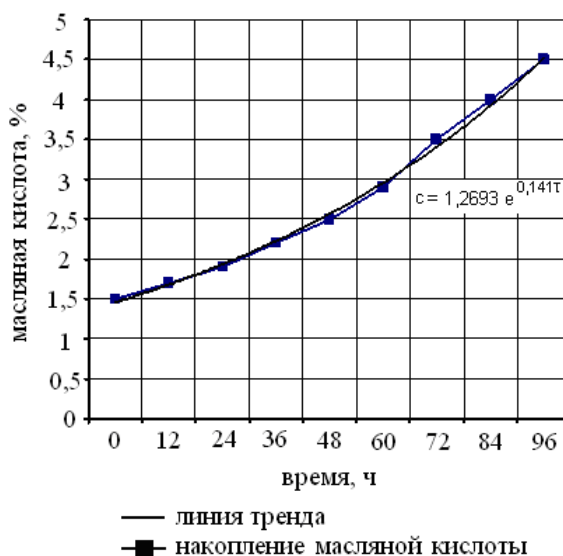


Рисунок 2.15 – Динамика процесса накопления масляной кислоты

Проанализировав, рисунок 2.15 делаем вывод о том, что с течением времени идет повышение процента масляной кислоты, которая способствует развитию маслянокислых бактерий, приводящих к гниению и, соответственно, к повышению температуры.

Значение кислотности на этапе молочнокислого брожения изменяется в соответствии с законом $pH=4,7758e^{-0,0806 \tau}$, представленным на рисунке 2.16.

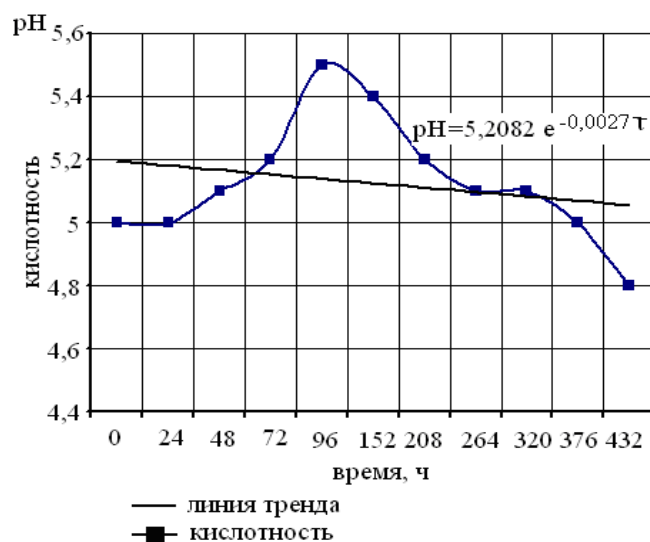


Рисунок 2.16 – Динамика изменения кислотности на этапе молочнокислого брожения

Из рисунка 2.16 видно, что кислотность с течением времени уменьшается, молочнокислые бактерии отмирают, увеличивается интенсивность процесса гниения.

Исследуем процесс молочнокислого и маслянокислого брожения. В результате исследований производим случайную выборку кислотности 20 слоев (таблица 2.4).

Таблица 2.4 - Случайная выборка кислотности 20 слоев

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	6,7	6,4	6,6	6,4	5,9	5,7	5,6	5,4	5,6	5,7
№ опыта	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
pH	5,6	5,7	5,6	5,7	5,6	5,7	5,9	5,3	5,2	4,9

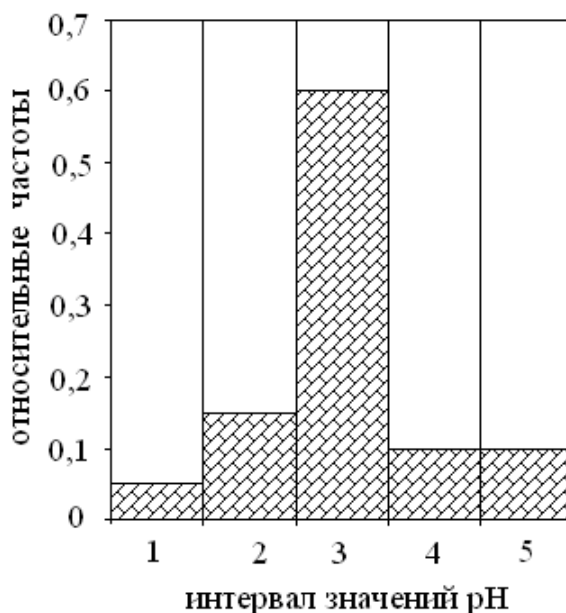
Далее строим вариационный ряд и гистограмму:

Из таблицы 2.4 выбираем минимальное и максимальное значения кислотности: максимальное значение признака составляет 6,7, а минимальное - 4,9. Разница между ними составляет 1,8. Этот интервал разбивается на определенное количество классов. При малом объеме выборки $n=20$ выделим 5 классов. Возьмем длину классового интервала $\Delta x_i = 0,5$. Получаем интервалы: 1) [4,5-5] – 1; 2) [5-5,5] – 3; 3) [5,5-6] – 12; 4) [6-6,5] – 2; 5) [6,5-7] – 2

С помощью ранжированного ряда определим частоту попадания варианта выборки в каждый интервал. В 1-й интервал попадает 1 значение, $m_1=1$; во 2-й интервал – 3 значения, $m_2=3$; в 3-й интервал – 12 значений, $m_3=12$; в 4-й интервал – 2 значения, $m_4=2$; в 5-й интервал – 2 значения, $m_5=2$.

$$\omega_1 = \frac{1}{20} = 0,05; \quad \omega_2 = \frac{3}{20} = 0,15; \quad \omega_3 = \frac{12}{20} = 0,6; \quad \omega_4 = \frac{2}{20} = 0,1; \quad \omega_5 = \frac{2}{20} = 0,1$$

Плотность частот приведена на рисунке 2.17.



1 - [4,5-5]; 2 - [5-5,5]; 3 - [5,5-6]; 4 - [6-6,5]; 5 - [6,5-7]

Рисунок 2.17 – Гистограмма распределений относительных частот значений кислотности

Так как максимальное значение частоты появления события $\omega_3 = 0,6$ приходится на интервал [5,5-6], то происходит молочнокислое брожение. Обработка экспериментальных данных приведена в приложении А, таблица 19.

По формулам математической статистики определяем основные выборочные характеристики (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Значения основных выборочных характеристик

Основные выборочные характеристики	Значения
Выборочная средняя	5,76
Дисперсия	0,2098
Среднее квадратическое отклонение	0,46
Ошибка средней	0,103
Коэффициент вариации	8

Т.к. коэффициент вариации (8%) меньше 10%, то изменчивость вариационного ряда незначительна.

Величина t_γ при заданной надежности γ составит

$$t_\gamma = t(\gamma; n) = t(0,95; 20) = 2,10$$

Радиус доверительного интервала составит

$$t \cdot s_x = 2,10 \cdot 0,103 = 0,22$$

Таким образом, с надежностью 95% можно утверждать, что среднее значение кислотности (генеральная средняя) заключено в интервале.

$$\bar{x} - t_\gamma \cdot s_x = 5,76 - 0,22 = 5,54 \text{ (гарантированный минимум)}$$

$$\bar{x} + t_\gamma \cdot s_x = 5,76 + 0,22 = 5,98 \text{ (возможный максимум).}$$

При полученных значениях кислотности происходит интенсивное размножение анаэробных бактерий, способствующих гниению. Корреляционные

зависимости кислотности от толщины слоя представлены в приложении А, таблица 20.

Коэффициент корреляции определяется как

$$r = \frac{-572,6}{\sqrt{3,99} \cdot \sqrt{130340}} = -0,79$$

Т.к. коэффициент корреляции отрицательный, то это означает что связь противоположная, т.е. чем меньше толщина слоя, тем выше кислотность.

Коэффициент регрессии определяем следующим образом

$$b_{y/x} = \frac{-572,6}{\sqrt{3,99}} = -286,66$$

Минимальное значение рН (5,76) отмечено при высоте 133 мм.

$$\text{При } y=0, x = -\frac{1784,16}{286,66} = 6,22$$

Максимальное значение рН (6,22) при высоте 0 мм.

По точкам минимума $M_1(5,76;133)$ и максимума $M_2(6,22;0)$ строим корреляционную прямую (рис. 2.18).

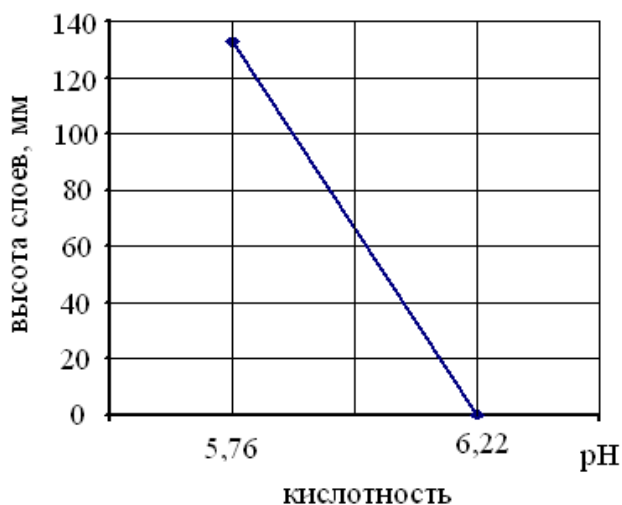


Рисунок 2.18 – График корреляционной зависимости

Полученная математическая модель молочнокислого брожения (уравнение прямой регрессии) обладает прогнозирующими свойствами лишь при изменении переменной x от 5,5 до 6.

Активная зона молочнокислого брожения выбирается с учетом того, что наибольшее развитие анаэробных бактерий происходит в интервале кислотности от 5,5 до 6. С учетом этого из уравнения регрессии (3.18) получаем

$$y_1 = -286,66 \cdot 5,5 + 1784,16 = 207,53 - \text{максимальное значение регрессии};$$

$$y_2 = -286,66 \cdot 6 + 1784,16 = 64,2 - \text{минимальное значение регрессии}.$$

Находим высоту слоя, в котором идет наиболее интенсивный процесс маслянокислого брожения

$$y_{\Delta i} = \acute{o}_1 - \acute{o}_2 = 207,53 - 64,2 = 143,33 \text{ мм}$$

Так как мы рассматриваем бурт или приямок кубической формы (глава 3), то находим начальный процент бродившей массы

$$\varepsilon_v = \left(\frac{y_{\Delta i}}{y_{\text{общ}}} \right)^3 = \left(\frac{143,33}{266} \right)^3 \cdot 100\% = 16\%$$

С достаточной степенью достоверности можно утверждать, что первоначальная масса молочнокислого брожения составляет 16% в начальный расчетный момент времени.

2.3 Исследование влияния конструктивных и режимных параметров теплоутилизатора на его производительность

Исследование влияния конструктивных параметров теплоутилизатора проводилось согласно методике.

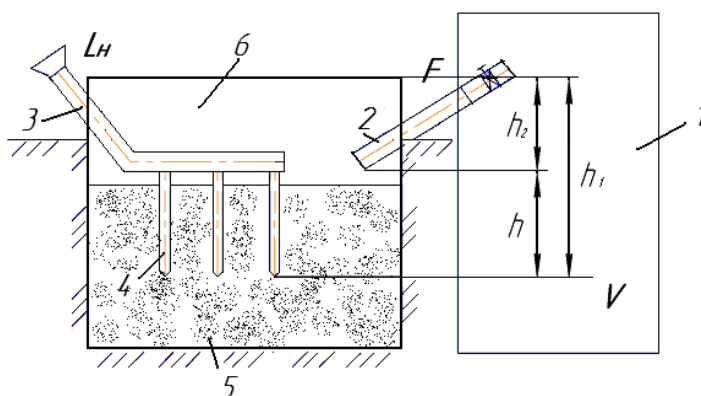
Управляемыми и значимыми факторами выбраны диаметр вытяжной трубы, количество необходимого компостируемого сырья, мощность насоса,

длина вытяжной трубы, общая длина приточной трубы, длина трубы аэрации, высота между нижними концами труб аэрации и нижним концом вытяжной трубы.

В ходе экспериментальных исследований выявлено, что тепловой поток от растительного сырья в компостном бурте зависит от плотности его заложения.

Так как количество теплоты, поступающей от растительного сырья, напрямую связано с производительностью теплоутилизатора, в задачу исследований входило определение высоты вытяжной трубы или разницы между приточным и вытяжным каналом (h) по которой теплый воздух будет поступать в помещение за счет разности давлений (температур).

От мощности насоса в нагнетательной (приточной) части утилизатора зависит скорость поступления теплоты из компостного бурта в свободное пространство под укрывным материалом (рис. 2.19).

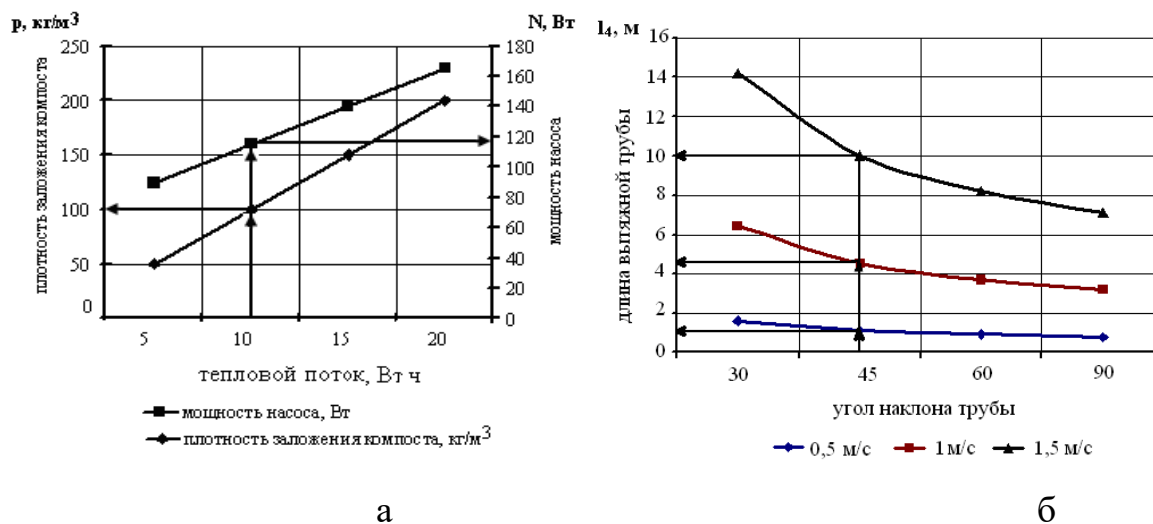


- 1 – отапливаемое помещение объемом V , м^3 ;
- 2 – вытяжной воздуховод с площадью поперечного сечения F , м^2 ;
- 3 – приточный воздуховод со встроенным насосом, мощностью L_n , $\text{м}^3/\text{ч}$;
- 4 – вертикальные трубы аэратора; 5 – компост;
- 6 – свободное пространство под укрывным материалом

Рисунок 2.19 - Схема для определения параметров теплоутилизатора

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила построить номограмму для определения длины вытяжной трубы, необходимой мощности насоса и теплового потока компоста в зависимости от плотности его заложения (рис. 2.20).

Если необходимо определить необходимую плотность заложения компоста и мощность насоса при тепловом потоке 10 Вт ч, то оси «х» откладывается значение теплового потока и находятся точки пересечения с прямыми зависимостями, плотности заложения компоста и мощности насоса и считываем значения по осям «у»: 100 кг/м³ и 118 Вт. Если необходимо определить необходимую длину вытяжной трубы, то по оси «х» откладывается значение угла наклона трубы 45° и находятся точки пересечения с графиками зависимости длины вытяжной трубы и считываем значения по осям «у»: при скорости движения воздуха 0,5 м/с - длина вытяжной трубы равна 1,1 м, при скорости движения воздуха 1 м/с - длина вытяжной трубы равна 4,5 м, при скорости движения воздуха 1,5 м/с - длина вытяжной трубы равна 10 м.



- а) номограмма для определения мощности насоса и плотности заложения компоста в зависимости от потребного теплового потока;
- б) номограмма для определения длины вытяжной трубы в зависимости от угла наклона

Рисунок 2.20 – Номограммы для определения параметров теплоутилизатора

Так как для обогрева конкретного помещения требуется определенное количество теплоты, экспериментальным путем получена зависимость количества компоста и выделяемого растительным сырьем теплоты от кубатуры помещения, на основании которой построена номограмма (рис. 2.21).

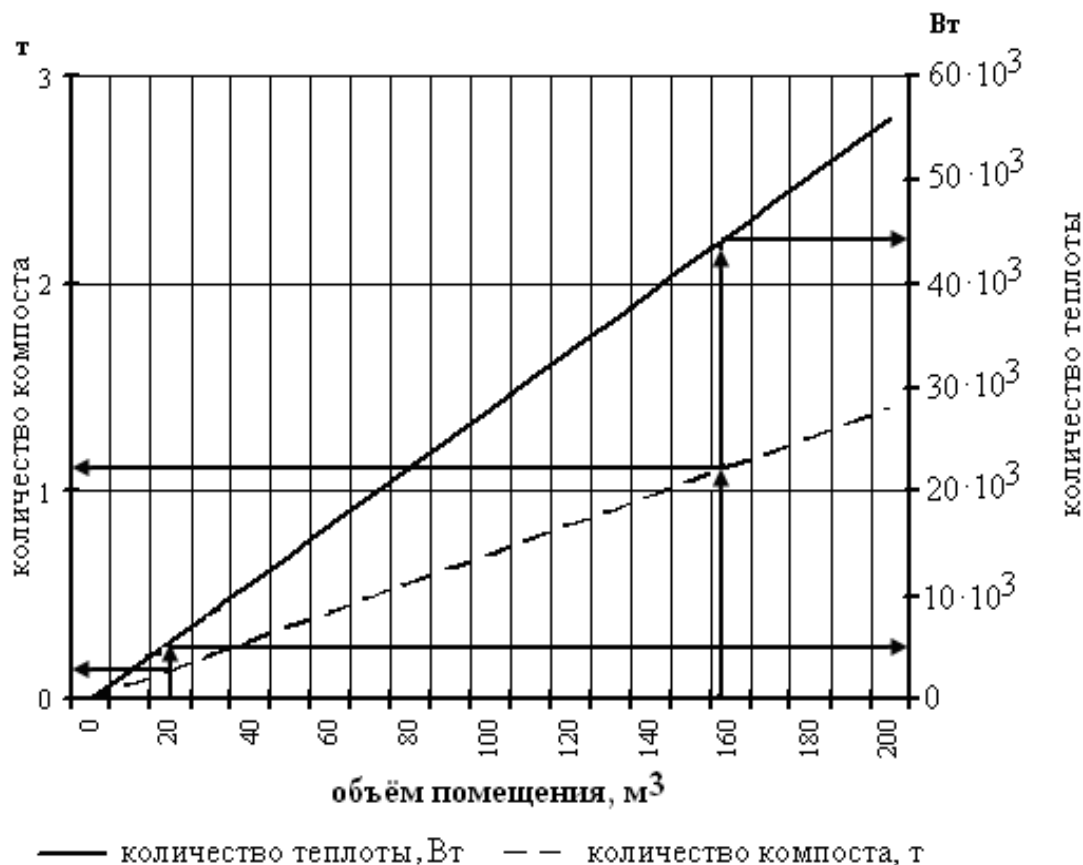


Рисунок 2.21 – Номограмма для определения необходимого количества компоста и теплоты

Для определения количества теплоты (Вт), необходимой для обогрева помещения определенного объема, и компоста для продуцирования этой теплоты (т), по оси «Х» откладывается значение объема помещения (например, 24 м³) и находятся точки пересечения с прямыми зависимостями. Значения необходимого количества теплоты и количества компоста считываются по осям «У» - в нашем случае 5 10³Вт и 0,1 т соответственно.

Для определения производительности приточной вентиляции и площади поперечного сечения вытяжной трубы, разработана номограмма (рис. 2.22).

Для определения производительности приточной вентиляции ($\text{м}^3/\text{ч}$) и площади поперечного сечения вытяжной трубы (м^2) для обогрева помещения определенного объема по оси «Х» откладывается значение объема помещения, (например, 24 м^3), находятся точки пересечения с прямыми зависимостями производительности и площади и считываются значения по осям «У»: производительности приточной вентиляции (в нашем случае $50 \text{ м}^3/\text{ч}$) и площади поперечного сечения вытяжной трубы ($0,01 \text{ м}^2$).

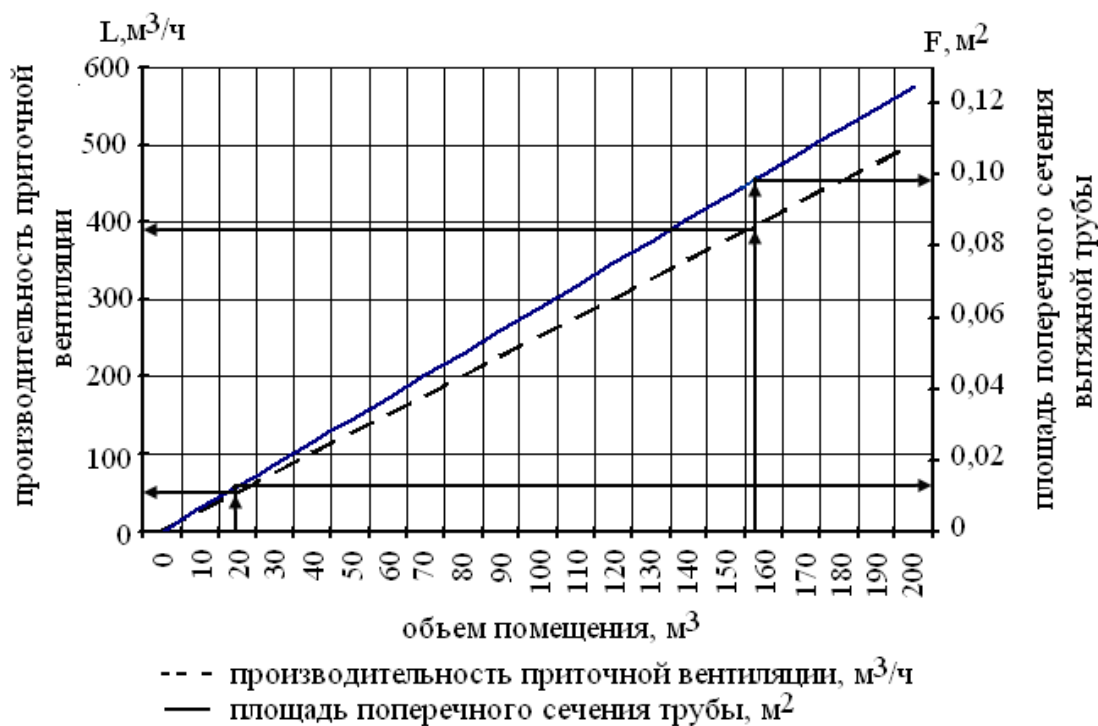


Рисунок 2.22 – Номограмма для определения производительности приточной вентиляции и площади поперечного сечения вытяжной трубы

Для определения скорости движения воздуха в вытяжной трубе при различном расстоянии между приточным и вытяжным каналами и наружной температуре -5°C используем разработанную нами таблицу (таблица 2.6). Таблицы для определения скорости движения воздуха в вытяжной трубе при различном расстоянии между приточным и вытяжным каналом и наружной температуре 0 и -10°C приведены в приложении Г, таблица 1 и таблица 2, соответственно.

Таблица 2.6 - Скорость движения воздуха в вытяжной трубе при различном расстоянии между приточным и вытяжным каналом

Расстояние между середи- нами приточ- ных и вытяжно- гоканалов, м	Внутренняя температура в помещении, (°С)						
	8	10	12	14	16	18	20
	Скорость движения воздуха в вытяжной трубе, (м/с)						
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
1	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
1,5	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0
2	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2
2,5	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3
3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5
3,5	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6
4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7
4,5	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8
5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,9

Литература

1. Алябьев, Е. В. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах / Е. В. Алябьев, Е. А. Вагин, В. В. Красников. - М.: Колос, 1977. - 384 с.
2. Пожарная опасность строительных материалов / А. Н. Баратов, Р. А. Андрианов, А. Я. Корольченко и др.; под ред. А. Н. Баратова. - М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
3. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. / под ред. А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко. - М.: Химия, 1990. - Кн. 2. - 383 с.
4. Богданов, Г. А. Сенаж и силос / Г. А. Богданов, О. Е. Привало. – М.: Колос, 1983. – 186 с.
5. Боярский, Л. Г. Технология приготовления силоса / Л. Г. Боярский. - М.: Агропромиздат, 1988. - 20 с.
6. Верещак, М. В. Альтернативные виды топлива; состояние и практические возможности их применения в России: аналит. докл. в рамках проекта «Германо-российский аграрно-политический диалог» / М. В. Верещак, Е. Лакемайер. - 2007.
7. Вогман, Л. П. Математическая модель процесса самонагрева насыпи растительного сырья. Пожаровзрывобезопасность / Л. П. Вогман, А. Г. Дегтярёв. – М.: Пожнаука, 1993. - 28 с.
8. Глотов, В. А. Применение биологических препаратов при заготовке кормов в хозяйствах ООО «Эфко-Ресурс» / В. А. Глотов // Белгородский агромир. - 2006. - № 3. - 34 с.
9. Гринин, А. С. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. - М.: Фаир-пресс, 2002. - 352 с.
10. Гусев, С. П. Местные удобрения / С. П. Гусев. – М.: Агропромиздат, 1998. – 211 с.

11. Гухман, А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена: Процессы переноса в движущейся среде / А. А. Гухман. - 3-е изд., испр. – М., 2010. – 328 с.
12. Домрачева, Г. И. Влияние пропионовокислых бактерий на качество силоса, рост и развитие молодняка животных: науч. тр. Сиб. науч.-исслед. ин-та с.-х. животных / Г. И. Домрачева, Ю. В. Кононов, А. Э. Майданюк. – Омск, 1970. - № 15. – С. 173-177.
13. Ешинимаяев, Б.Ц. Термофильные и термотолерантные аэробные метанотрофы / Б. Ц. Ешинимаяев // Микробиология. - 2009. - № 4. - 450 с.
14. Ильин, И. В. Энергосберегающее вентиляционно-отопительное оборудование для животноводческих ферм / И. В. Ильин // Тракторы и сельскохозяйственные машины - 2003. - № 2. – С. 21-24.
15. Способ получения биогумуса, устройство для получения биогумуса: пат. 2116266 Рос. Федерация / Кащи П.З., Дереневский С.П.
16. Клаар, Я. И. Технология производства препарата силосных бактерий (*L.plantarum*) и их применение для силосования / Я. И. Клаар. – Таллин, 1961. - 32 с.
17. Ковалев, А. А. Эффективность производства биогаза на животноводческих фермах / А. А. Ковалев // Техника в сельском хозяйстве. - 2001. - № 3. - 25-27 с.
18. Конвенции и рекомендации МОТ. Межд. Бюро труда. – Женева: Международное бюро труда, 1991. – 1938 с.
19. Контейнер для растительных материалов: пат. 102174 Рос. Федерация МПК А01F 25/14 / Лумисте Е. Г., Панова Т.В., Панов М.В.; заявл. 25.05.2010; опубл. 20.02.2011, Бюл. № 5.
20. Лумисте, Е. Г. Анализ факторов производственной среды в животноводстве / Е. Г. Лумисте, Т. В. Панова // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. тр. – Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2009. С. 149-152.

21. Лумисте, Е. Г. Анализ и проектирование условий труда / Е. Г. Лумисте, Т. В. Панова // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. тр. – Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. - С. 154-157.
22. Лумисте, Е. Г. Безопасность жизнедеятельности в примерах и задачах / Е. Г. лумисте. – Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. - 535 с.
23. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов / В. А. Медведский, Н. А. Садовов А. Ф., Железко, М. В. Рубина. – М.: ИВЦ Минфина, 2008. - 600 с.
24. Приточно-вытяжная установка теплоутилизатором: пат. 99864 Рос. Федерация МПК F28F 13/00, A01F 25/22 / Панова Т. В., Лумисте Е. Г., Панов М. В.; заявл. 15.07.2010; опубл. 27.11.2010, Бюл. № 33.
25. Панова, Т. В. Улучшение микроклиматических условий на животноводческих фермах и комплексах / Т. В. Панова // Проблемы энергетики и природопользования. Вопросы безопасности жизнедеятельности и экологии». – Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. - 150-155 с.
26. Смурыгин, М. А. Повышение качества и эффективности использования кормов / М. А. Смурыгин. – М.: Колос, 1983. - 317 с.
27. Теппер, Е. З. Практикум по микробиологии / Е. З. Теппер, В. К. Шильникова, Г. И. Переверзева. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Колос, 1993. - 149 с.
28. Способ переработки растительного сырья и продуктов жизнедеятельности животных на основе биотического оборота: пат. 2163586 Рос. Федерация / Шапиро В. А., Маленков А. Г.; опубл. 27.02. 2001
29. Шумилин, Б. Производство биогаза в фермерском хозяйстве / Б. Шумилин // Техника и оборудование для села. - 2001. - № 6. – С. 19-21.
30. <http://www.cnshb.ru/AKDiL/>
31. <http://cxm.karelia.ru/machins/>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Результаты измерений температуры (t) и относительной влажности (Н) по точкам (зимний период года)

№ контрольных точек	t, °С	Н, %
1 - точка №1, расположенная на расстоянии 3 м от стены	10,3	85
2 - точка №6, расположенная на расстоянии 13 м от стены	11,2	86
3 - точка №2, расположенная на расстоянии 23 м от стены	12,3	86
4 - точка №10, расположенная на расстоянии 33 м от стены	12,8	86
5 - точка №1*, расположенная на расстоянии 43 м от стены	12	86
6 - точка №6*, расположенная на расстоянии 53 м от стены	12,1	87
7 - точка №2*, расположенная на расстоянии 63 м от стены	12,1	86
1 - точка №7, расположенная на расстоянии 3 м от стены	12,8	86
2 - точка №5, расположенная на расстоянии 13 м от стены	12,8	84
3 - точка №8, расположенная на расстоянии 23 м от стены	13,1	86
4 - точка №11, расположенная на расстоянии 33 м от стены	12,9	86
5 - точка №7*, расположенная на расстоянии 43 м от стены	12,3	87
6 - точка №5*, расположенная на расстоянии 53 м от стены	12,6	86
7 - точка №8*, расположенная на расстоянии 63 м от стены	12,4	86
1 - точка №3, расположенная на расстоянии 3 м от стены	13,0	85
2 - точка №9, расположенная на расстоянии 13 м от стены	13,1	85
3 - точка №4, расположенная на расстоянии 23 м от стены	13,3	86
4 - точка №12, расположенная на расстоянии 33 м от стены	13,1	86
5 - точка №3*, расположенная на расстоянии 43 м от стены	12,7	86
6 - точка №9*, расположенная на расстоянии 53 м от стены	12,8	86
7 - точка №4*, расположенная на расстоянии 63 м от стены	12,4	86

Таблица 2 – Результаты измерения параметров температуры (t), относительной влажности (Н) и скорости движения воздуха (v) в зависимости от высоты размещения прибора в основных точках (переходный период года)

Высота размещения прибора	t, °C	Н, %	v, м/с
точка №1			
0.5 м	10,4	78	0.09
1 м	10,7	79	0.03
1.5 м	11,0	79	0
2 м	11,4	80	0
точка №2			
0.5 м	9,8	78	0,1
1 м	10,1	78	0,02
1.5 м	11,5	79	0
2 м	11,7	79	0
точка №3			
0.5 м	10,1	79	0,05
1 м	10,4	79	0,01
1.5 м	10,7	80	0
2 м	11,1	80	0
точка №4			
0.5 м	9,5	78	0.12
1 м	10,4	78	0.03
1.5 м	11,2	79	0
2 м	11,4	79	0
точка №5			
0.5 м	7,4	77	0.18
1 м	8,6	77	0.09
1.5 м	8,9	77	0
2 м	9,4	78	0

Таблица 3 – Усредненные значения температуры (t), относительной влажности (Н) и скорости движения воздуха (v) по точкам 1-5

Высота размещения прибора	t, °C	Н, %	v, м/с
0,5 м	9,44	78	0,075
1 м	10,04	78,2	0,015
1,5 м	10,66	78,8	0
2 м	11	79,2	0

Таблица 4 – Результаты измерений температуры (t) и относительной влажности (H) по точкам (летний период года)

№ контрольных точек	t, °C	H, %
1 - точка №1, расположенная на расстоянии 3 м от стены	22,9	60
2 - точка №6, расположенная на расстоянии 13 м от стены	23,4	59
3 - точка №2, расположенная на расстоянии 23 м от стены	23	59
4 - точка №10, расположенная на расстоянии 33 м от стены	22,7	58
5 - точка №1*, расположенная на расстоянии 43 м от стены	22,8	58
6 - точка №6*, расположенная на расстоянии 53 м от стены	22,9	57
7 - точка №2*, расположенная на расстоянии 63 м от стены	22,8	60
1 - точка №7, расположенная на расстоянии 3 м от стены	22,7	56
2 - точка №5, расположенная на расстоянии 13 м от стены	23	57
3 - точка №8, расположенная на расстоянии 23 м от стены	23	57
4 - точка №11, расположенная на расстоянии 33 м от стены	23	57
5 - точка №7*, расположенная на расстоянии 43 м от стены	22,9	57
6 - точка №5*, расположенная на расстоянии 53 м от стены	22,8	57
7 - точка №8*, расположенная на расстоянии 63 м от стены	22,9	56
1 - точка №3, расположенная на расстоянии 3 м от стены	22,9	57
2 - точка №9, расположенная на расстоянии 13 м от стены	23,1	60
3 - точка №4, расположенная на расстоянии 23 м от стены	23,1	58
4 - точка №12, расположенная на расстоянии 33 м от стены	23	57
5 - точка №3*, расположенная на расстоянии 43 м от стены	23	57
6 - точка №9*, расположенная на расстоянии 53 м от стены	23	58
7 - точка №4*, расположенная на расстоянии 63 м от стены	23	58

Таблица 5 – Результаты измерения параметров температуры (t), относительной влажности (Н) и скорости движения воздуха (v) в зависимости от высоты размещения прибора в основных точках (летний период года)

Высота размещения прибора	t, °С	Н, %	v, м/с
точка №1			
0.5 м	22.8	61	0
1 м	22.8	61	0
1.5 м	22.9	60	0
2 м	23	59	0
точка №2			
0.5 м	22,8	60	0,1
1 м	22,8	59	0,02
1.5 м	23	59	0
2 м	23	58	0
точка №3			
0.5 м	23	58	0
1 м	23	58	0
1.5 м	22.9	57	0
2 м	22.9	56	0
точка №4			
0.5 м	23	59	0.12
1 м	23	58	0.03
1.5 м	23,1	58	0
2 м	23,2	58	0
точка №5			
0.5 м	23	58	0.04
1 м	23	58	0.01
1.5 м	23	57	0.0
2 м	22.9	57	0

Таблица 6 – Усредненные значения температуры (t), относительной влажности (Н) и скорости движения воздуха (v) по точкам 1-5 (летний период года)

Высота размещения прибора	t, °С	Н, %	v, м/с
0,5 м	22,92	59,2	0,052
1 м	22,92	58,8	0,012
1,5 м	22,98	58,2	0
2 м	23	57,6	0

Таблица 7 – Результаты измерения параметров температуры, относительной влажности в молочном блоке в летнее время

№ точек замеров	Температура, °С	Относительная влажность, %
1 _м	21	74
2 _м	21	74
3 _м	19	74
4 _м	19	74
5 _м	19	74

Таблица 8 – Результаты измерения параметров температуры и относительной влажности в молочном блоке в зимнее время

№ точек замеров	Температура, °С	Относительная влажность, %
1 _м	9	82
2 _м	9	82
3 _м	12	82
4 _м	12	82
5 _м	12	82

Таблица 9 – Результаты измерения параметров температуры и относительной влажности в бытовом помещении в летнее время

№ точек замеров	Температура, °С	Относительная влажность, %
1 _б	21	84
2 _б	21	84
3 _б	21	84
4 _б	21	84
5 _б	21	84

Таблица 10 – Результаты измерения параметров температуры и относительной влажности в бытовом помещении в зимнее время

№ точек замеров	Температура, °С	Относительная влажность, %
1 _б	14	84
2 _б	14	84
3 _б	14	84
4 _б	14	84
5 _б	14	84

Параметры микроклимата вне помещения

$t = +16$ °С, $H = 76\%$, $V = 4$ м/с, $P = 746$ мм.рт.ст.

Параметры микроклимата внутри помещения

$t = +23$ °С, $H = 83\%$, $V = 0.11$ м/с, $P = 749$ мм.рт.ст.

Таблица 11 - Результаты анализа загазованности в переходный период года

Наименование анализируемого газа	Концентрация газа, мг/м ³	ПДК, мг/м ³
- аммиак (NH ₃)	46	20
- оксид углерода (CO)	2	20
- диоксид углерода (CO ₂)	0,8	20
- сероводород (H ₂ S)	3	10

Таблица 12 - Результаты анализа запыленности в летний период года

Параметры микроклимата вне помещения
 t = -19.4 °С, Н = 50%, V = 1.2 м/с, Р = 745 мм.рт.ст

№ точки	Концентрация пыли, мг/м ³
№1 – 3 метра от стены	6
№2 – 23 метра от стены	9
№3 – 3 метра от стены	13
№4 – 23 метра от стены	14
№5 – 13 метра от стены	7

Таблица 13 - Результаты измерения запыленности в зимнее время года

№ точки	Концентрация пыли, мг/м ³
№1 – 3 метра от стены	2,1
№2 – 23 метра от стены	3
№3 – 3 метра от стены	3,8
№4 – 23 метра от стены	4
№5 – 13 метра от стены	1,9

Таблица 14 - Зависимость кислотности от толщины слоя (плотность заложения 200 мг/м³)

мм	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
pH	5,5	5,6	5,6	5,6	5,5	5,4	5,3	5,5	5,6	5,7	5,9	6,4	6,5	6,7

Таблица 15 - Зависимость температуры силоса от толщины слоя (плотность заложения 200 мг/м³)

мм	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
t, °С	45	46,9	48,8	50,7	52,6	54,5	64,4	55,1	53,7	52,3	50,2	49,5	48,6	46,3

Таблица 16 - Матрица ранжирования

Параметры (вредные факторы)	Опрашиваемые работники									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Экстремальные температуры (X ₁)	4	2	2	3	3	3	1	1	1	1
Экстремальная влажность (X ₂)	1	2	3	4	1	4	3	1	2	2
Шум и вибрация (X ₃)	4	3	3	2	3	2	3	3	3	2
Повышенное давление (X ₄)	1	4	2	1	1	3	2	2	4	3
Недостаточная освещенность (X ₅)	4	1	5	4	5	3	4	3	5	4

Таблица 17 – Переформирование рангов

Показатели	Расположение рангов в упорядоченном ряду				
	1	2	3	4	5
Работник 1	1	1	4	4	4
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₂	X ₄	X ₁	X ₃	X ₅
Новые ранги	1,5	1,5	4	4	4
Работник 2	1	2	2	3	4
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₅	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Новые ранги	1	2,5	2,5	4	5
Работник 3	2	2	3	3	5
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₁	X ₄	X ₂	X ₃	X ₅
Новые ранги	2	2	3	3	5
Работник 4	1	2	3	4	4
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₄	X ₃	X ₁	X ₂	X ₅
Новые ранги	1	2	3	4,5	4,5
Работник 5	1	1	3	3	5
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₂	X ₄	X ₁	X ₃	X ₅
Новые ранги	1,5	1,5	3,5	3,5	5
Работник 6	2	3	3	3	4
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₃	X ₁	X ₄	X ₅	X ₂
Новые ранги	2	3	3	3	4
Работник 7	1	2	3	3	4
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₁	X ₄	X ₂	X ₃	X ₅
Новые ранги	1	2	3,5	3,5	5
Работник 8	1	1	2	3	3
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₁	X ₂	X ₄	X ₃	X ₅
Новые ранги	1,5	1,5	3	4,5	4,5
Работник 9	1	2	3	4	5
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Новые ранги	1	2	3	4	5
Работник 10	1	2	2	3	4
Расположение факторов по оценке опрашиваемого работника	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Новые ранги	1	2,5	2,5	4	5

Таблица 18 – Уточненная матрица рангов

Неблагоприятные факторы	Опрашиваемые работники предприятия										Сумма рангов $\sum_{i=1}^m X_i$	D	D ²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Дискомфортная температура (X ₁)	4	2,5	2	3	3,5	3	1	1,5	1	1	22,5	-7,5	56,25
Дискомфортная влажность (X ₂)	1,5	2,5	3	4,5	1,5	4	3,5	1,5	2	2,5	26,5	-3,5	12,25
Повышенный уровень шума и вибрации (X ₃)	4	4	3	2	3,5	2	3,5	4,5	3	2,5	32	2	4
Повышенное давление (X ₄)	1,5	5	2	1	1,5	3	2	3	4	4	27	-3	9
Недостаточная освещенность (X ₅)	4	1	5	4,5	5	3	5	4,5	5	5	42	12	144
Сумма $\sum_{j=1}^n X_j$	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	150	0	S=22 5,5

Таблица 19 – Обработка экспериментальных данных

№ п/п	Результат исследования x ₁	x ₁ -хср	(x ₁ -хср) ²
1	6,7	0,94	0,88
2	6,4	0,64	0,41
3	6,6	0,84	0,71
4	6,4	0,64	0,41
5	5,9	0,14	0,02
6	5,7	-0,06	0,00
7	5,6	-0,16	0,03
8	5,4	-0,36	0,13
9	5,6	-0,16	0,03
10	5,7	-0,06	0,00
11	5,6	-0,16	0,03
12	5,7	-0,06	0,00
13	5,6	-0,16	0,03
14	5,7	-0,06	0,00
15	5,6	-0,16	0,03
16	5,7	-0,06	0,00
17	5,9	0,14	0,02
18	5,3	-0,46	0,21
19	5,2	-0,56	0,31
20	4,9	-0,86	0,74
сумма	115,2	0,00	3,99

Таблица 20 – Корреляционные зависимости кислотности от толщины слоя

№ п/п	x pH	y (мм)	$x1-xcp$	$(x1-xcp)^2$	$y1-ycp$	$(y1-ycp)^2$	$(x1-xcp)(y1-ycp)$
1	6,7	0	0,94	0,88	-133	17689	-125,02
2	6,4	14	0,64	0,41	-119	14161	-76,16
3	6,6	28	0,84	0,71	-105	11025	-88,20
4	6,4	42	0,64	0,41	-91	8281	-58,24
5	5,9	56	0,14	0,02	-77	5929	-10,78
6	5,7	70	-0,06	0,00	-63	3969	3,78
7	5,6	84	-0,16	0,03	-49	2401	7,84
8	5,4	98	-0,36	0,13	-35	1225	12,60
9	5,6	112	-0,16	0,03	-21	441	3,36
10	5,7	126	-0,06	0,00	-7	49	0,42
11	5,6	140	-0,16	0,03	7	49	-1,12
12	5,7	154	-0,06	0,00	21	441	-1,26
13	5,6	168	-0,16	0,03	35	1225	-5,60
14	5,7	182	-0,06	0,00	49	2401	-2,94
15	5,6	196	-0,16	0,03	63	3969	-10,08
16	5,7	210	-0,06	0,00	77	5929	-4,62
17	5,9	224	0,14	0,02	91	8281	12,74
18	5,3	238	-0,46	0,21	105	11025	-48,30
19	5,2	252	-0,56	0,31	119	14161	-66,64
20	4,9	266	-0,86	0,74	133	17689	-114,38
Сумма	115,2	2660,0	0,00	3,99	0,0	130340	-572,60

Научное издание

**Панова Татьяна Васильевна
Панов Максим Владимирович
Сакович Наталия Евгениевна**

Энергосберегающие технологии улучшения микроклимата в животноводческих помещениях

Монография

Редактор Павлютина И.П.

ISBN 978-5-88517-378-0



Подписано к печати 01.10.2021 г. Формат 60×80
Бумага писчая. Усл. п. л. 3,95. Тираж 550 экз. Изд. №7023.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино,
ул. Советская д. 2а, Брянский ГАУ