

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Панова Т.В., Панов М.В.

**Обеспечение безопасности работающих
при хранении
и переработке растительного сырья**

Монография

**Брянская область,
2020**

УДК 331.4 (035.3)

ББК 65.247

П 16

Панова, Т. В. Обеспечение безопасности работающих при хранении и переработке растительного сырья: монография / Т. В. Панова, М. В. Панов. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. – 96 с.

ISBN 978-5-88517-342-1

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 28 августа 2020 г., протокол №1.

ISBN 978-5-88517-342-1

© Панова Т.В., 2020

© Панов М.В., 2020

© Брянский ГАУ, 2020

Содержание

Введение	5
1 Термогенез растительного сырья.....	7
1.1 Понятие термогенеза	7
1.2 Термогенез при силосовании.....	8
1.3 Термогенез при компостировании	10
1.4 Термогенез при хранении растительного материала	15
1.5 Безопасность работников при хранении растительного материала	25
1.6 Терморегуляция и реакции организма человека на микроклиматические факторы	27
1.6.1 Физическая и химическая терморегуляция	27
1.6.2 Реакция организма человека на микроклиматические факторы	28
1.7 Требования к микроклимату в животноводческих помещениях.....	31
2 Энергосберегающие технологии для нормализации микроклимата	33
3 Энергосберегающее оборудование для нормализации микроклимата	36
3.1 Установки активного вентилирования	36
3.2 Температурно-компенсаторные установки.....	40
3.2.1 Подпольные навозохранилища	40
3.2.2 Установки для компостирования с отводом избыточной теплоты	41
4 Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров теплоутилизатора	45

5	Параметры тепловыделения при использовании теплоутилизатора.....	69
5.1	Необходимое количества теплоты для обогрева помещений.....	69
5.2	Потери теплоты при её транспортировке в теплоутилизаторе	72
5.3	Тепловыделение в процессе гниения растительного сырья в теплоутилизаторе	77
6	Определения физико-химических свойств компостируемого сырья	86
	Литература	93

Введение

В настоящее время традиционное отопление все меньше удовлетворяет желаниям потребителей, и причин этому множество. Используемые когда-то повсеместно дрова и уголь уступили место вошедшему практически в каждый дом газу. Однако он, как и дрова, является природным ресурсом, и не бесконечен. Это, конечно же, способствует повышению уровня цен на них и отражается на карманах граждан. Еще одной причиной недовольства традиционным отоплением может послужить его неспособность подстраиваться под изменения температур. Все чаще люди страдают от недостатка тепла в зимний период.

При использовании классической системы отопления происходит большая потеря тепла, прежде чем оно обогреет потребителя. Именно поэтому все большее внимание обращают на себя альтернативные источники тепла, способные удовлетворить столь важную потребность человека, как теплое помещение. На сегодняшний день рынок теплового оборудования представляет для этого широкий спектр возможностей.

Уже давно известно несколько способов передачи тепла: контактный, конвективный и радиационный.

При первом способе передача тепла происходит от более горячего объекта более холодному, для чего необходим непосредственный контакт между ними. Для передачи тепла конвективным способом необходим дополнительный объект - промежуточный теплоноситель. Радиационный же обеспечивает нагревание при помощи инфракрасных волн.

Именно конвективный и радиационный способы передачи тепла являются основой для альтернативного отопления.

Постоянный рост стоимости нефтепродуктов, газа и соответственного сырья заставляет многие страны и многих думающих жителей нашей страны все чаще обращать свое внимание на способы получения так называемой возобнов-

ляемой энергии (альтернативной), которая, несомненно, в скором времени понадобится для обретения энергонезависимости и восполнения нехватки традиционных видов топлива. Ни для кого не секрет, что наша страна имеет огромные перспективы для внедрения этого очень важного и жизненно необходимого ресурса на потребительский рынок как для частных лиц, так и крупных компаний, заводов и предприятий. Ведь основными преимуществами данных технологий является абсолютная экологичность, простота в эксплуатации, длительное время работы систем, минимальное сервисное и техническое обслуживание.

1 Термогенез растительного сырья

1.1 Понятие термогенеза

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

Термофилы – группа микроорганизмов, встречающаяся среди актиномицетов, грибов, бактерий. Распространены в небольших количествах во всех почвах. Являясь обычными обитателями компостов и навоза, вызывают их “саморазогревание”.

В процессе хранения растительного материала повышенной влажности сначала идет активное размножение неспорозных палочек, затем появляются термостойкие микрококки и, образующие полосы белые колонии, плесневые грибы, актиномицеты. Дальнейшее развитие процесса саморазогревания (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.

Различают следующие виды термофильных бактерий

- психрофилы, (от -10 до +35°C)
- мезофилы (от 30 до 45°C)
- термотолеранты (от 45 до 50°C)
- эвритермофилы (от 50 до 75°C)

- стенотермофилы ($>75^{\circ}\text{C}$)

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.

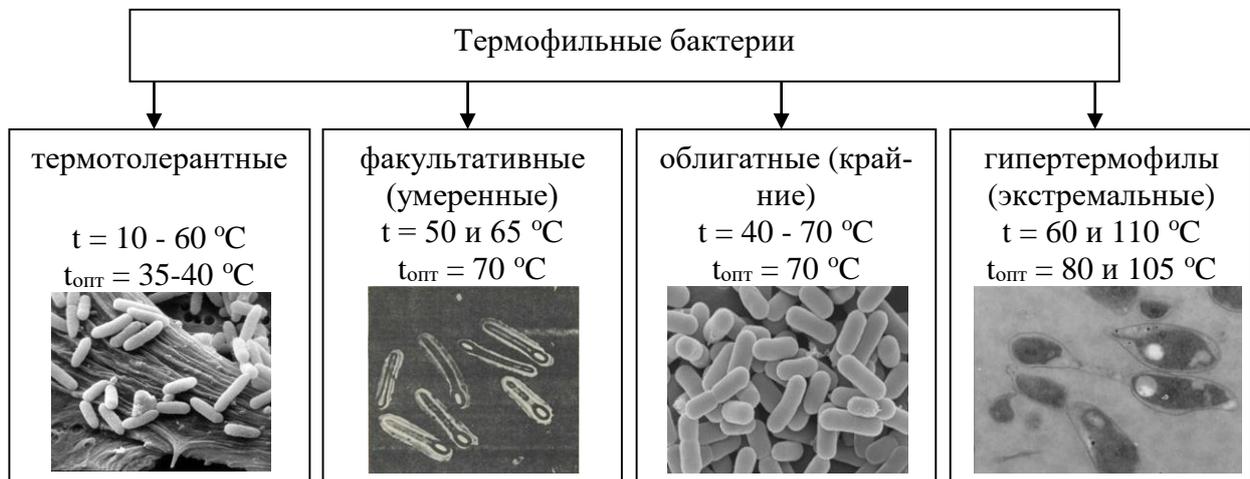


Рисунок 1.1 - Виды термофильных бактерий

1.2 Термогенез при силосовании

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.

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

ратуры, достигающей в некоторых слоях корма до 40°C. При горячем способе си-



Рисунок 1.2 – Процесс термогенеза при силосовании

лосное 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.

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.

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.

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

1.3 Термогенез при компостировании

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, дерновонавозный, возноземляной, компост из листьев, компост из навоза, из ветвей и т.д.. В зависимости от вида компоста он становится готовым к использованию в течение 6-12 месяцев, кроме торфофекального, который созревает к концу второго года.

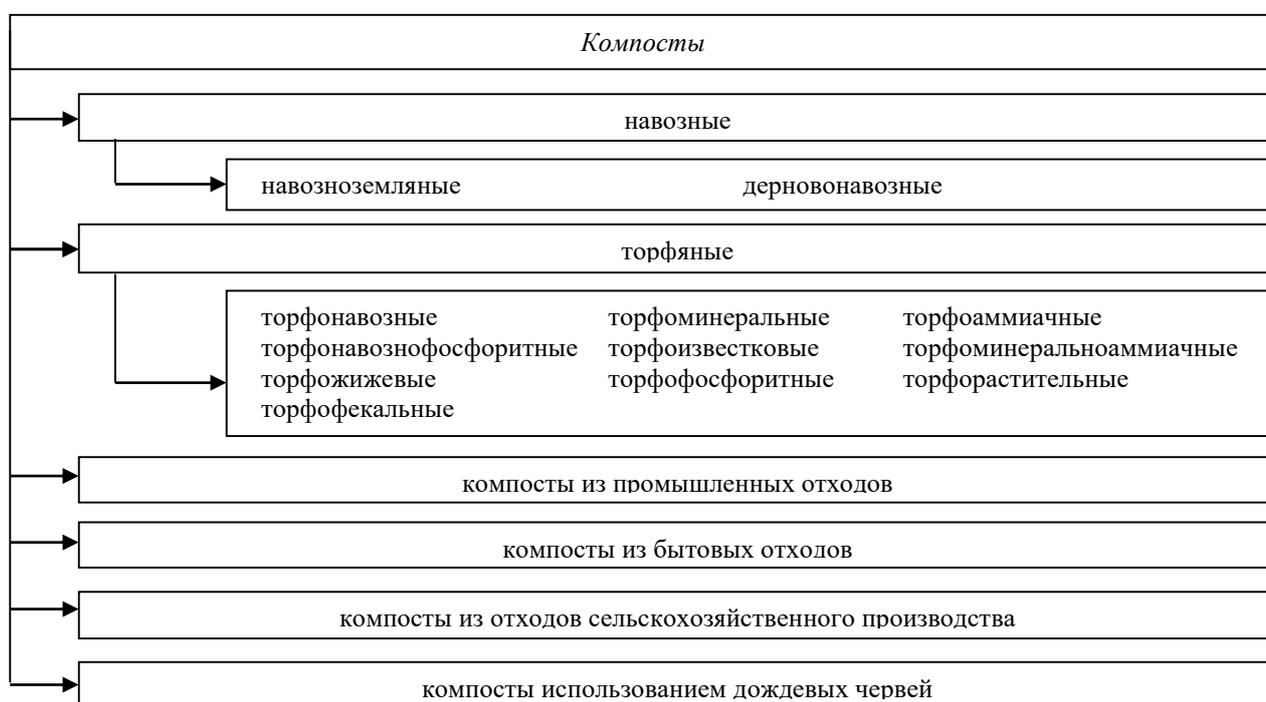


Рисунок 1.3 – Виды компоста

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

Технологии компостирования представлены на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – 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.

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.

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 .

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 .

В процессе созревания силоса различают три микробиологические фазы, характеризующиеся специфическим видовым составом микрофлоры.

Рассмотрим явление термогенеза на примере приготовления силоса, так как силос является самым доступным материалом для использования его с целью получения и утилизации теплоты.

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.

Первая фаза характеризуется размножением смешанной микрофлоры с некоторым преобладанием гнилостных аэробных неспоровых бактерий - кишечной палочки, псевдомонас, молочнокислых микробов, дрожжей. Спорозисные гнилостные и маслянокислые бактерии размножаются медленно и не преобладают над молочнокислыми. Основной средой для развития смешанной микрофлоры в этой стадии является растительный сок, выделяющийся из тканей растений и заполняющий пространство между измельченной растительной массой. Это способствует созданию анаэробных условий в силосе, что угнетает развитие гнилостных бактерий и благоприятствует размножению молочнокислых микробов. Первая фаза при плотной укладке силоса, то есть в анаэробных условиях, продолжается всего 2 - 5 дней, при рыхлой укладке в аэробных условиях она более продолжительна и длится 1—2 недели. За это время силос разогревается благодаря интенсивным аэробным микробиологическим процессам.

Вторая фаза созревания силоса характеризуется бурным размножением молочнокислых микробов, причем вначале развиваются преимущественно кокковые формы, которые затем сменяются молочнокислыми бактериями. Благодаря накоплению молочной кислоты прекращается развитие всех гнилостных и маслянокислых микроорганизмов, при этом вегетативные их формы погибают,

остаются лишь спороносные (в форме спор). При полном соблюдении технологии закладки силоса в этой фазе размножаются гомоферментативные молочно-кислые бактерии, образующие из сахаров только молочную кислоту. При нарушении технологии закладки силоса, когда в нем содержится воздух, развивается микрофлора гетероферментативного брожения, в результате чего образуются нежелательные летучие кислоты — масляная, уксусная и др. Длительность второй фазы — от двух недель до трех месяцев.

Третья фаза характеризуется постепенным отмиранием в силосе молочно-кислых микробов из-за высокой концентрации молочной кислоты (2,5 %). В это время созревание силоса завершается, условным показателем пригодности его к скармливанию считается кислотность силосной массы, снижающаяся до рН 4,2 - 4,5. В аэробных условиях начинают размножаться плесени и дрожжи, которые расщепляют молочную кислоту, этим пользуются маслянокислые и гнилостные бактерии, прорастающие из спор, в результате силос плесневеет и загнивает. Гниение силоса, сопровождающееся значительным самосогреванием, отмечают при рыхлой его укладке и недостаточном уплотнении. Бурному развитию гнилостных и термофильных микробов способствует находящийся в силосе воздух. В результате разложения белка силос приобретает гнилостный, аммиачный запах и становится непригодным к скармливанию. Гниение силоса происходит в первой микробиологической фазе, когда задерживается развитие молочнокислых микробов и накопление молочной кислоты, подавляющей гнилостных бактерий. Чтобы прекратить развитие последних, необходимо рН в силосе снизить до 4,2 - 4,5.

Основными параметрами силоса являются: влажность, активная кислотность (рН), содержание аммиака, количество и соотношение органических кислот (молочной, уксусной и масляной), содержание каротина.

Тепловой поток (Вт), который будет выделяться из гниющего силоса, прямо пропорционально массе гниющего силоса

$$Q = bm_{\text{гн}} \quad (1.1)$$

где b - коэффициент, зависящий от вида трав, составляющих силос и от концентраций веществ, способствующих гниению (например, молочнокислые бактерии);

$m_{гн}$ – масса гниющего силоса, кг.

Для определения массы гниющего силоса необходимо знать убыль силоса. Пусть в силосную яму объемом V заложили силос массой m_0 , при этом силос уплотняют. Плотность силоса $\rho = \frac{m_0}{V}$. В данном случае полагаем m_0 - начальная масса нормального силоса (без продуктов гниения), т.е. начальная масса гниющего силоса равна нулю.

При нарушении технологии силосования с течением времени происходит гниение силосной массы и, следовательно, масса нормального (не гнилого силоса) уменьшается по следующему закону: убыль массы нормального силоса на $-dm$ за время $d\tau$ пропорциональна наличной массе данного силоса

$$-dm = m \cdot k_g \cdot d\tau \quad (1.2)$$

где $k_g = f(pH, p, t, \gamma, \beta)$ - коэффициент гниения, зависящий от кислотности силоса pH , атмосферного давления p , температуры силоса t , количества воздуха, оцениваемого пористостью γ и влажностью силоса β .

Произведем разделение переменных: $\frac{dm}{m} = -k_g \cdot d\tau$

После интегрирования обеих частей уравнения, получим

$$\int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = -\int_0^\tau k_g \cdot d\tau; \ln m - \ln m_0 = -k_g \cdot \tau; \ln m = \ln m_0 - k_g \cdot \tau$$

Тогда масса нормального силоса оставшегося после гниения за время τ , будет равна

$$m = m_0 e^{-k_g \tau} \quad (1.3)$$

Масса сгнившего силоса из выражения

$$m_{\text{гн}} = m_0 - m = m_0(1 - e^{-k_2 \tau}) \quad (1.4)$$

Количество теплоты, выделяющееся при гниении силоса, в окончательном варианте примет вид

$$Q = k_2 m_0 (1 - e^{-\alpha \tau}) \quad (1.5)$$

где m_0 – начальная масса не испорченного растительного сырья, кг;

k_2 – коэффициент гниения силоса.

Для определения коэффициента гниения силоса k_2 можно рекомендовать следующую методику.

В емкость объемом V_0 помещается силос, который тщательно уплотняется. Зная массу емкости, можно определить начальную массу силоса m_0 .

По истечении времени T_0 силос извлекается из емкости, удаляется гнилостная составляющая и измеряется масса оставшегося не гнилого силоса m .

Тогда из формулы (5.3) можно выразить коэффициент гниения силоса k_2

$$e^{-k_2 T_0} = \frac{m}{m_0}; \quad (1.6)$$

$$k_2 = \frac{1}{T_0} \ln \frac{m_0}{m} \quad (1.7)$$

Данный коэффициент можно определить для силосной ямы любого объема.

1.4 Термогенез при хранении растительного материала

В процессе хранения растительного материала повышенной влажности сначала идет активное размножение неспорозных 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.

Дыхание живых компонентов *зерновой массы* сопровождается выделением тепла. Вследствие плохой тепло- и температуропроводности образующееся тепло может задерживаться в ней и приводить к самосогреванию (самосогрванию). Таким образом, самосогревание *зерновой массы* — следствие ее физиологических и физических свойств.

Температура зерновой массы при запущенных формах самосогревания достигает 55...65°C и в редких случаях 70...75°C. Затем зерновая масса постепенно естественно охлаждается. Зерна и семена темнеют («обугливаются»), зерновая масса теряет сыпучесть и превращается в монолит. Полностью утрачиваются посевные, хлебопекарные и другие технологические качества. В некоторых случаях зерно приобретает токсические свойства.

Даже при меньшей температуре (25-30°C) заметны ухудшения качества и потеря массы сухих веществ на несколько процентов. Вот почему необходимо понимать процесс теплообразования в зерновой массе, уметь своевременно обнаруживать начало процесса и быстро его ликвидировать. Конечно, самое правильное — организовать хранение зерновых масс так, чтобы исключить возможность самосогревания. Образование и накопление тепла в зерновой массе происходит вследствие следующих причин: - интенсивного дыхания зерна основной культуры, а также зерен и семян, входящих в состав примесей; - активного развития микроорганизмов; - интенсивной жизнедеятельности насекомых и клещей.

Перечисленные источники теплообразования очень существенны. Однако самосогревание может быть вызвано жизнедеятельностью одних микроорганизмов, среди которых важнейшие и устойчивые продуценты тепла - плесневые грибы. Обладая огромной интенсивностью дыхания и теплообразовательной способностью, развивающийся мицелий использует на свои нужды всего 5 - 10% освобождаемой энергии. В результате жизнедеятельности самого зерна, когда различными приемами с его поверхности удаляют микрофлору, даже при довольно высокой влажности (20% и несколько более) самосогревание не наблюдается.

При массовом развитии в насыпях зерна клещей и насекомых им принадлежит существенная роль в теплообразовании. Она особенно заметна, когда влажность зерновой массы низка, и это не позволяет активно развиваться микроорганизмам. Велика также роль семян сорных растений.

Скорость развития процесса зависит от состояния зерновой массы, ее влажности, физиологической активности и т. д. Например, в свежесобранном зерне с повышенной влажностью, значительным содержанием примесей и более высокой первоначальной температурой (15 - 20°C) процесс развивается очень быстро. При меньшей влажности и температуре зерновой массы развитие самосогревания замедляется.

Необходимо обратить внимание еще на начальную температуру возникновения процесса. Самосогревание начинается в зерновой массе или каком-то ее участке при температуре не ниже 10°C. Это объясняется малой способностью к газообмену и генерации тепла живыми компонентами зерновой массы при низкой положительной температуре. При более высоких температурах возрастает термогенез, образование тепла превышает его отдачу в окружающее пространство и в зерновой массе возникает очаг самосогревания. Затем тепло перемещается на соседние участки насыпи, что, в свою очередь, способствует активации физиологических процессов и теплообразованию. При запущенных формах самосогревания вся зерновая масса оказывается в греющемся состоянии.

Быстрое нарастание температуры в зерновой массе при любом начальном темпе самосогревания происходит, когда ее температура достигает оптимальной для мезофильной микрофлоры и особенно плесневых грибов (25...30°C). В данных условиях резко повышается интенсивность дыхания зерна и семян. После достижения температурного максимума, при котором прекращается жизнедеятельность даже самых теплолюбивых (термофильных) бактерий, самосогревание прекращается, но зерновая масса оказывается совсем испорченной.

Такая динамика и изменение видового состава микрофлоры при самосогревании типичны. В начале самосогревания увеличивается численность микрофлоры. С повышением температуры в интервале 23...35°C общее количество микроорганизмов уменьшается и на смену появляются микрококки и плесневые грибы. Дальнейшее повышение температуры сопровождается бурным развитием микрококков, плесневых грибов и спорообразующих бактерий при значительном снижении общей численности микроорганизмов. Если процесс самосогревания останавливают сушкой или охлаждением на каком-то этапе, соответственно этому будет и микрофлора зерновой массы.

Характеризуя процесс самосогревания, принято подразделять его на три вида: гнездовое, пластовое и сплошное.

Гнездовое самосогревание может возникнуть в любой части зерновой массы в результате одной из следующих причин: - увлажнение какого-то участка зерновой массы при неисправности крыш или недостаточной гидролизации стен хранилищ; - засыпки в одно хранилище (или загром) зерна с различной влажностью, в результате чего создаются очаги (гнезда) повышенной влажности; - образование в зерновой массе участков с повышенным содержанием примесей и пыли (следовательно, и микроорганизмов) в результате ссыпания вместе резко разнородного по содержанию примесей зерна; - скопление насекомых и клещей на одном участке насыпи.

Греющийся слой возникает в насыпи зерна в виде горизонтального или вертикального пласта. В зависимости от того, в каком участке насыпи образуется

греющийся пласт, различают самосогревание верховое, низовое и вертикальное. Природа любого пластового самосогревания одна и та же. Оно происходит вследствие термовлагопроводности, свойственной зерновой массе. Перепады температур, испытываемые периферийными частями насыпи, создают условия для перемещения и конденсации влаги. Поэтому пластовое самосогревание возникает недалеко от поверхности насыпи или в слоях, близко находящихся от пола и стен хранилища.

Верховое самосогревание наблюдается поздней осенью и весной. Даже при небольшой высоте насыпи (1 - 1,5м) греющийся слой образуется на расстоянии 15...25 см от поверхности, при большей высоте он возникает на глубине 70 - 150 см. Верховому самосогреванию осенью особенно подвержено свежееубранное зерно, если его своевременно недостаточно охладили.

При таких условиях вследствие активно протекающих физиологических процессов воздух межзерновых пространств нагревается и увлажняется. Поднимаясь в верхние участки насыпи, он соприкасается с несколько охладившимся верхним слоем зерна, в результате чего происходит конденсация водяных паров. Температура увлажнившегося слоя, особенно его нижней части, еще благоприятна для развития микробов и способствует усилению жизнедеятельности самого зерна.

Весной и в начале лета температура внутренней части зерновой массы низкая, зимняя, а поверхностные слои прогреваются теплым воздухом, возможны также конденсация водяных паров и усиленное развитие физиологических процессов. Весеннее верховое самосогревание особенно характерно для теплой ранней весны после зимы с большими морозами. При резких перепадах температур верховое самосогревание в данный период наблюдается в сухих и даже длительно хранившихся зерновых массах. При верховом самосогревании в связи с теплообменными свойствами зерновой массы температура ее внутренних участков, находившихся ниже греющегося слоя, попытается медленно.

Низовое самосогревание развивается горизонтальным пластом в нижней части зерновой массы на расстоянии 20 - 50 см от пола. Это наиболее опасный

вид пластового самосогревания, так как тепло, образующееся в нижних участках насыпи, легко перемещается в лежащие выше слои, и вся зерновая масса за короткий период подвергается самосогреванию. Низовое самосогревание обычно возникает ранней осенью при загрузке свежееубранного неохлажденного зерна в склады с холодными полами.

Вертикальное самосогревание более характерно для зерновых масс, хранящихся в металлических бункерах, силосах элеватора, но встречается и в складах при увлажнении какой-либо стены, соприкасающейся с зерновой массой. Иногда такое самосогревание вызывается охлаждением или нагревом одной из стен склада. При хранении семян к закромам одна из стен которых наружная, может произойти вертикально-пластовое самосогревание. Оно исключается, если стена закрома на 50...60 см удалена от наружной стены склада.

Сплошное самосогревание характеризует такое состояние, при котором греется вся зерновая масса, кроме самых периферийных участков. Сплошное самосогревание возникает сразу в зерновых массах с высокой влажностью, содержащих большое количество различных примесей, в том числе частей растений и недозревших зерен. Даже кратковременное хранение осенью такого зерна насыпью слоем 1 м без немедленного охлаждения приводит к бурному развитию процесса. Колебания температуры, обнаруживаемые и том или ином участке, существенной роли не играют.

В связи с возможностью возникновения самосогревания в любой зерновой массе и в различных ее участках, а также вследствие резко отрицательного влияния процесса на качество зерна и семян необходимо систематическое наблюдение за состоянием хранимых партии. Низкая температура в насыпях свидетельствует о благополучном хранении. Начавшийся процесс самосогревания сам по себе не прекращается и проходит все стадии повышения температуры. Только активное вмешательство человека с применением тех или иных технических средств обеспечивает его ликвидацию. Самосогревание должно быть выявлено и прекращено в самом начале.

Не всякое повышение *температуры зерновой массы* свидетельствует о начале самосогревания.

Зерновые массы обладают большой тепловой инерцией, поэтому установленная в какой-то момент температура насыпи, заметно отличающаяся от температуры воздуха в складе, может быть следствием тепловой инерции зерна.

Самосогревание зерна ведет к смене микрофлоры. Свойственная зерну эпифитная микрофлора исчезает. Сначала обильно размножаются непигментированные неспорозоносные палочки, вытесняющие *Erwinia herbicola*. Позднее появляются термостойкие (термотолерантные) микрококки, образующие на плотных средах чаще всего мелкие белые плоские колонии, плесневые грибы, актиномицеты. Дальнейшее развитие процесса самосогревания (свыше 40-50°C) способствует развитию спорообразующих и термофильных бактерий. По мере самосогревания изменяется и видовой состав плесневых грибов. Виды *Penicillium*, которые преобладали вначале, заменяются видами *Aspergillus*.

Таким образом, по видовому составу микрофлоры можно судить не только о том, подвергалось ли зерно самосогреванию, но и насколько далеко зашел этот процесс. Преобладание *Erwinia herbicola* в микробном ценозе зерна служит показателем его хороших качеств. Большое количество спорообразующих бактерий и грибов указывает на потерю всхожести семян.

Благоприятные условия для развития на зерне микроорганизмов приводят к накоплению выделяемых ими токсинов. В результате при скармливании такого зерна скоту и домашней птице часто возникают кормовые отравления. Таким образом, правильное хранение зерна должно сводиться к тому, чтобы не допускать развития на нем микроорганизмов. А в случае порчи зерна проводится его утилизация в пиролизных котлах, с целью получения очень ценных на сегодняшний день энергетических продуктов – горючего газа, полукокса и жидкого топлива.

Для определения качественного состава микрофлоры зерна колонии группируют по культуральным признакам, из каждой группы колоний готовят препараты, выявляют принадлежность микроорганизмов к роду или семейству и

определяют Численность бактерий каждой группы в процентах от общего количества микроорганизмов.

Для идентификации выделенные культуры микроорганизмов очищают. На основании микробиологического анализа, делают заключение о качестве зерна. На свежем доброкачественном зерне преобладает *Erwinia herbicola* (до 80%), образующая блестящие оранжевые колонии. Встречаются *Pseudomonas fluorescens*, формирующая желтовато-зеленоватые флуоресцирующие колонии, непигментированные неспорообразующие палочки, дрожжи (колонии блестящие, выпуклые, часто окрашенные в розовые тона). При учете на сусло-агаре с мелом выявляются молочнокислые бактерии, образующие чечевицеобразные мелкие колонии с зонами растворения мела.

На несвежем зерне, хранившемся в условиях повышенной влажности, *Erwinia herbicola*, *Pseudomonas fluorescens* не выявляются. Обнаруживаются микрококки, образующие мелкие белые блестящие плоские колонии, спорообразующие палочки, актиномицеты, а также неспороносные палочки. При учете на сусло-агаре выявляется значительное количество грибов, главным образом относящихся к роду *Penicillium*, а также *Aspergillus*.

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

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°C контролируется от 1/3 до 2/3 объёма силоса (бункера).

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°C . 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.

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).

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 $250\text{--}270^{\circ}\text{C}$, в насыпи растительного сырья идёт процесс горения (тления).

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.

В процессе хранения сначала идет процесс размножения неспорозных палочек, затем появляются термостойкие микрококки и, образующие полосы белые колонии, плесневые грибы, актиномицеты.

В результате самонагревания растительного сырья под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов в массе вещества может возникать микробиологические самовозгорание.

Некоторые вещества могут самовозгораться, находясь при обычной температуре.

Склонностью к микробиологическому самовозгоранию обладают увлажненные органические материалы, служащие питательной средой для микроорганизмов, жизнедеятельность которых связана с выделением теплоты (торф, силос, увлажненное сено, зерно).

В случае, когда количество образующейся теплоты повышает теплопотери в окружающую среду, возможно возникновение пожара.

Пожарная опасность веществ, склонных к самовозгоранию, очень велика, поскольку они возгораются при температуре окружающей среды ниже температуры самовоспламенения веществ, а период индукции самовозгорания веществ может составлять несколько часов, дней, месяцев. Начавшийся процесс разогревания вещества можно остановить лишь при обнаружении опасного нарастания температуры. Контроль изменения температуры в растительном сырье можно осуществлять с помощью термодатчиков.

Начало процесса самовозгорания характеризуется температурой самонагревания ($T_{сн}$), представляющей собой минимальную температуру, при которой обнаруживается тепловыделение. При достижении в процессе самонагревания температуры самовозгорания ($T_{своз}$), возникает горение материала, проявляющееся в виде тления или пламенного горения. Явление самонагревания обязательно учитывается при определении склонности веществ к самовозгоранию. Возможность самовозгорания материала устанавливается по зависимостям

$$\lg T_{окр} = A_1 - n_1 \lg l \quad (1.8)$$

$$\lg T_{окр} = A_2 - n_2 \lg \tau \quad (1.9)$$

где $T_{окр}$ – температура окружающей среды, °С;

l – толщина слоя, м;

τ – время, в течение которого может произойти самовозгорание;

A_1 и A_2 , n_1 и n_2 – коэффициенты, характерные для каждого материала.

Для микробиологического самовозгорания характерно то, что $T_{сн}$ не превышает температуры окружающей среды.

На основании изложенного выше можно заключить, что для определения количества теплоты, выделяющейся при гниении органики, необходимо знать массу растительного сырья и коэффициент, учитывающий вид исходного сырья, а также концентрацию веществ, способствующих гниению. Для определения возможности самовозгорания необходимо знать толщину слоя растительного сырья и время, в течение которого может произойти самовозгорание.

1.5 Безопасность работников при хранении растительного материала

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.).

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), Ромацини (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.

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

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.

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 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 дыхания (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%).

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

Анализируя вышеизложенное, можно заключить, что заболеваемость работников АПК в настоящее время остается на достаточно высоком уровне.

1.6 Терморегуляция и реакции организма человека на микроклиматические факторы

1.6.1 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. [27].

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, 24].

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.

Неблагоприятные условия могут вызывать перенапряжение механизма терморегуляции, что ведет к перегреву или переохлаждению организма [17].

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

1.6.2 Реакция организма человека на микроклиматические факторы

Существенную роль на жизнедеятельность человека оказывают температура и влажность воздуха [15, 17].

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, предрасполагает к заболеваниям органов дыхания, в первую очередь к острым респираторным заболеваниям, обострениям суставного и мышечного ревматизма, появлению крестцово-поясничного радикулита [3].

В особо тяжелых случаях воздействие низких температур приводит к обмороживанию, и даже к смерти [14, 18].

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» [15].

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 [3, 38].

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°C [29].

В целом факторы дискомфортного микроклимата и реакции организма человека на их сочетание можно представить в виде схемы (рис. 1.5).

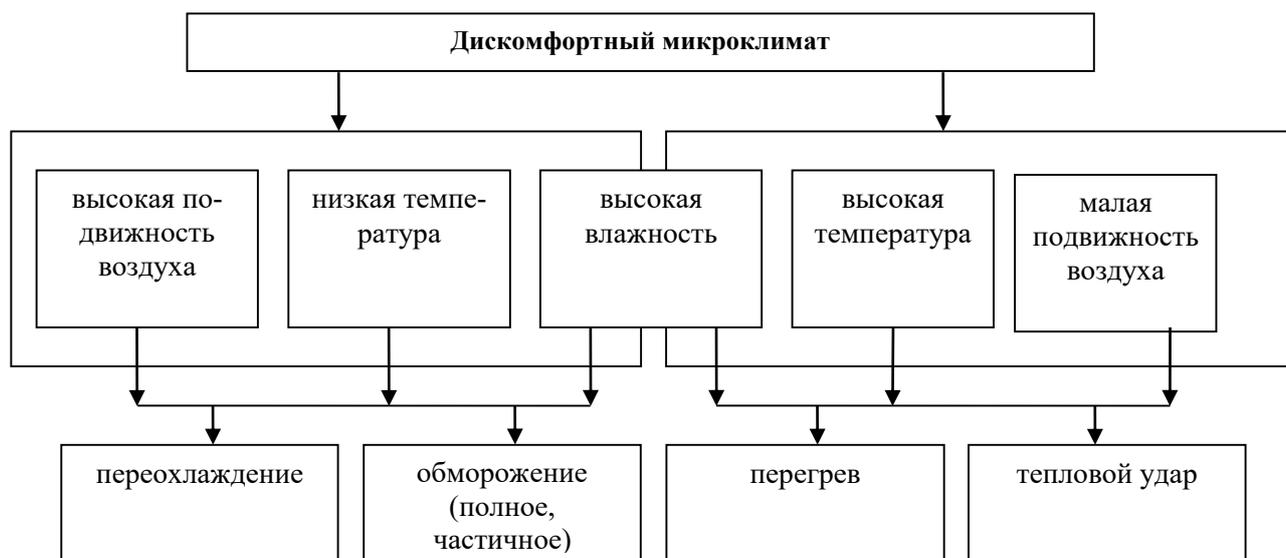


Рисунок 1.5 – Факторы дискомфортного микроклимата

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 [14].

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

1.7 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, 32].

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 [13, 32].

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 [36, 84].

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, 12, 15, 36, 96].

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.

2 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 [27, 32].

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 [7, 12, 13, 27].

Все энергосберегающие технологии можно классифицировать по принципу нормализации микроклимата (рис. 2.1).

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 [12, 32].

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.

При этом основной составляющей экономического эффекта является экономия электрической энергии на подогрев приточного воздуха за счет возврата теплоты утилизаторами [12, 27].

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.

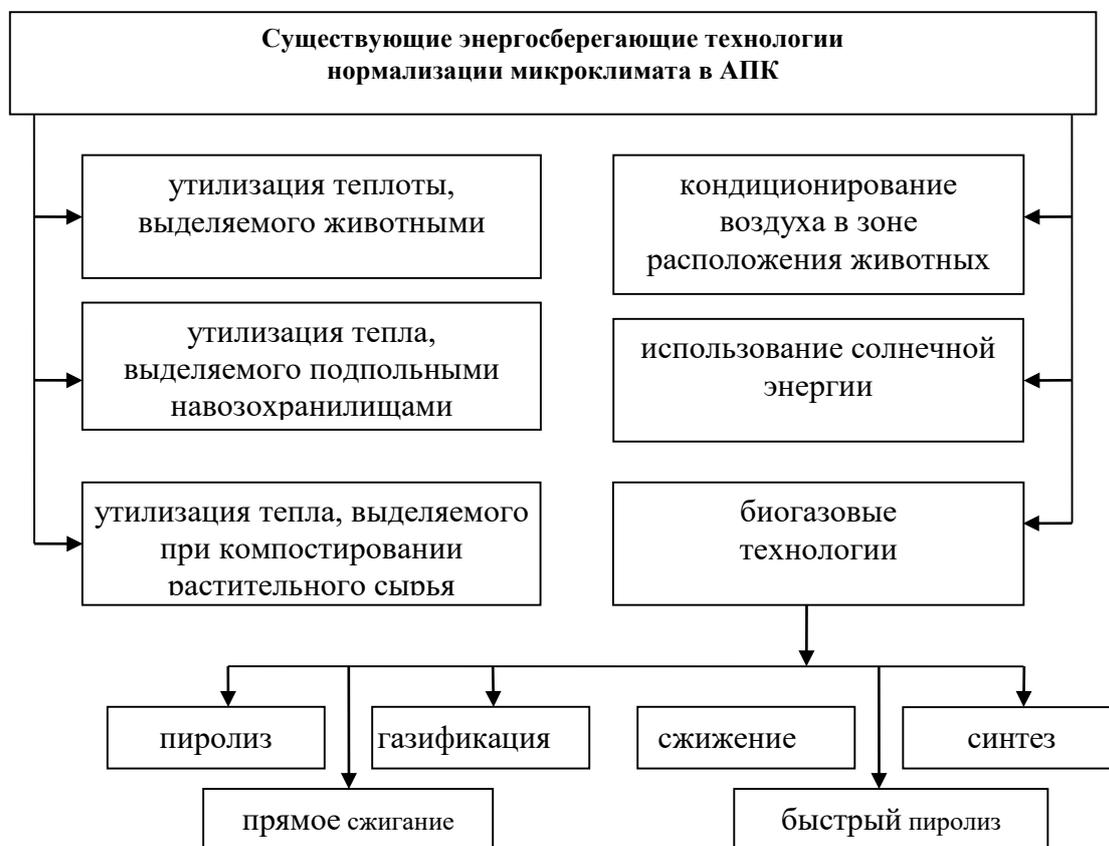


Рисунок 2.1 – Энергосберегающие технологии нормализации микроклимата

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

К термохимическим методам переработки биомассы в топливо относятся (рис. 2.2): прямое сжигание, пиролиз, газификация, сжижение, быстрый пиролиз, синтез.



Рисунок 2.2 – 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.

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.

3 Энергосберегающее оборудование для нормализации микроклимата

3.1 Установки активного вентилирования

Активное вентилирование - принудительное продувание воздуха через массу сельскохозяйственной продукции без её перемещения. В отличие от естественной вентиляции (тепловой конвекции) и поверхностного обдувания, Активное вентилирование позволяет создать и поддерживать равные оптимальные

условия в больших объемах продукции и благодаря этому снизить потери сельскохозяйственной продукции при хранении и эффективнее использовать объем хранилищ. Активное вентилирование используется при хранении зерна, семян, сахарной свёклы, картофеля, овощей и др. Системы активного вентилирования имеют конструктивные различия, но необходимыми элементами всех их являются: вентилятор, воздухораспределительные каналы и ёмкости для размещения продукции. Распространены стационарные и передвижные установки для активного вентилирования. В соответствии с особенностями технологии хранения разных видов продукции в системах активного вентилирования предусматривают устройства для подогрева, охлаждения, увлажнения, осушения воздуха, подачи паро- и газообразных веществ и т. д. Системы активного вентилирования в крупных хранилищах оборудуются автоматическим управлением. Активное вентилирование - прогрессивная технология хранения с.-х. продукции, широко внедряемая в производство.

Активное вентилирование ведется с применением следующего оборудования: установки для досушивания сена УВС, установки для досушивания сена УДС-300, бункера активного вентилирования и др.

Установка для досушивания сена УВС (рис. 3.1) предназначена для досушивания сена активным вентилированием измельченной и неизмельченной провяленной травы в скирдах.

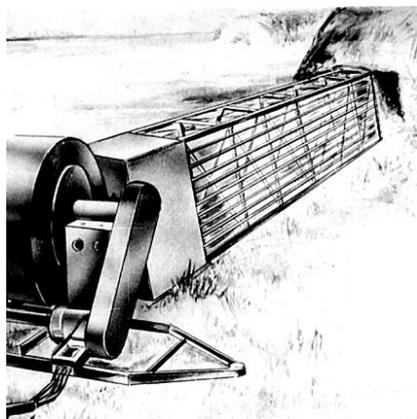


Рисунок 3.1 – Установка для досушивания сена УВС

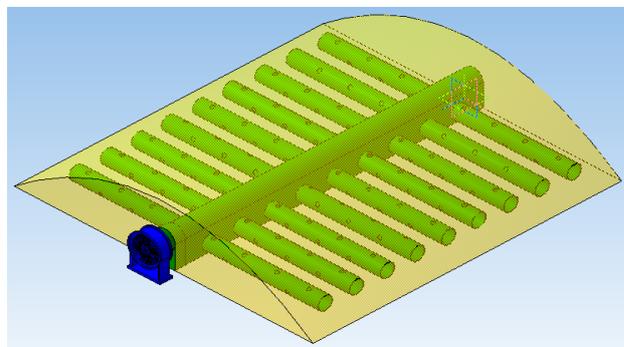


Рисунок 3.2 - Установка для досушивания сена УДС-300

Обработка массы ведется путем продувки её атмосферным воздухом. Основные узлы: подстожный горизонтально расположенный воздухопроводящий канал, роторный вентилятор.

Подстожный канал представляет собой конусообразную сборную конструкцию. Сваренную из уголковой стали. Передняя часть обшита листовой сталью, к торцу приварен фланец для крепления переходника на вентилятор.

В конце подстожного канала смонтирован шарнирно-рычажный механизм, предназначенный для подъема и опускания его задней части. Шарнирно-рычажный механизм соединен с корпусом канала и двумя опорными башмаками. В действие механизм приводят при помощи стального троса, выведенного наружу.

В рабочем состоянии задняя часть воздухо-проводящего канала находится в приподнятом состоянии, при вытягивании его из-под скирды после завершения сушки канал опускается.

Привод центробежного вентилятора от электродвигателя через клиноременную передачу может подставляться в варианте, когда вентилятор и двигатель монтированы на одной оси.

Перед стогованием подстожный канал при помощи трактора на ровной площадке устанавливают в рабочее положение.

Установка для досушивания сена УДС-300 (рис. 3.2) предназначена для досушивания провяленной травы принудительным продуванием через неё холодного или слегка подогретого воздуха. Может быть также использована для досушивания сена, спрессованного в тюки. Основные узлы: рама, осевой вентилятор, электроподогреватель, система воздухораспределения, щит управления и электрооборудование.

Электрический подогреватель состоит из трубчатых элементов, смонтированных в цилиндрическом кожухе. При прохождении воздуха через электроподогреватель температура его повышается на 2,5 °С. Система воздухораспределения включает центральный канал и распределительные трубы. Со стороны большого сечения канал открыт, с противоположной – заглушен. В его боковых стенках сделаны окна для присоединения распределительных труб, укладываемых

перпендикулярно центральному каналу. Вентилятор, ротор которого монтируют на валу электродвигателя, расположен снаружи хранилища и соединен с центральным каналом патрубком.

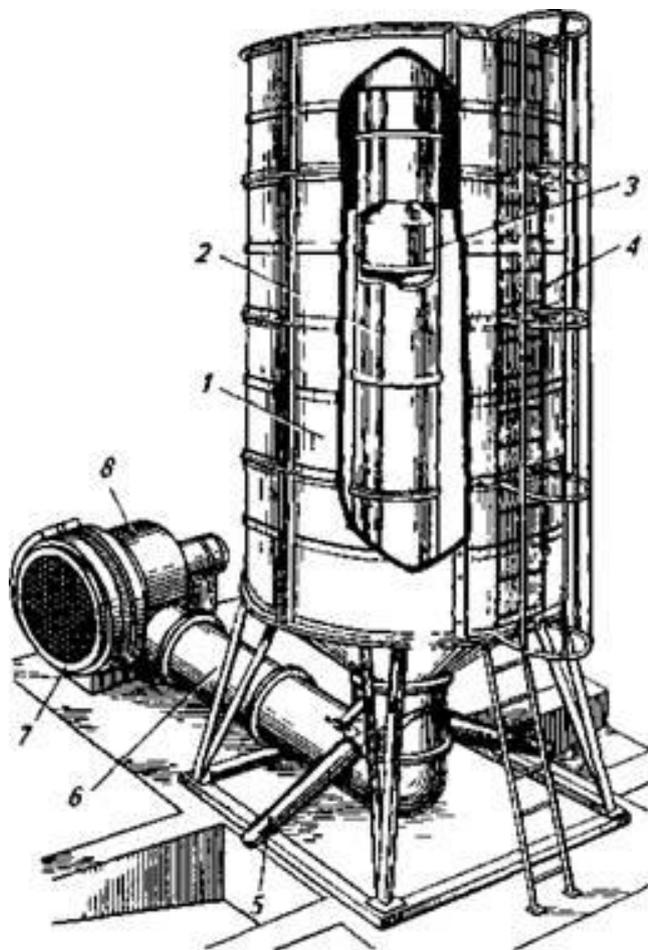


Рисунок 3.3 - Бункер активного вентилирования

Бункер активного вентилирования типа БВ (рис. 3.3) используют для временной консервации и подсушки семян. Он представляет собой металлический цилиндр 1 с отверстиями, поддерживаемый подпорками. Внутри цилиндра 1 установлен перфорированный цилиндр 2, являющийся воздухо-распределительной трубой. Кольцевой промежуток между цилиндрами заполняют зерном. Для выгрузки зерна служит лоток 5.

В воздухо-распределительной трубе на тросе подвешен воздушный клапан 3, который можно поднимать и опускать лебедкой в зависимости от заполнения кольцевого промежутка зерном. Если влажность зерна не превышает 22%, бункер

полностью заполняют зерном, при влажности 28...30% его заполняют наполовину.

Перед заполнением бункера зерном поднимают воздушный клапан 3, а после заполнения до требуемого уровня клапан опускают с таким расчетом, чтобы его верхний край расположился на 20 см ниже уровня зерна у внутреннего цилиндра 2.

Холодный или подогретый электронагревателем 7 воздух вентилятор 8 нагнетает во внутренний цилиндр.

Вместимость бункера активного вентилирования до 40 т зерна пшеницы. Бункеры активного вентилирования могут входить в состав зерноочистительно-сушильного комплекса.

3.2 Температурно-компенсаторные установки

3.2.1 Подпольные навозохранилища

Разработано несколько технологических систем с использованием в качестве компенсатора теплоты объемного подпольного навозохранилища (рис. 3.4). 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 $+12^{\circ}\text{C}$.

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.

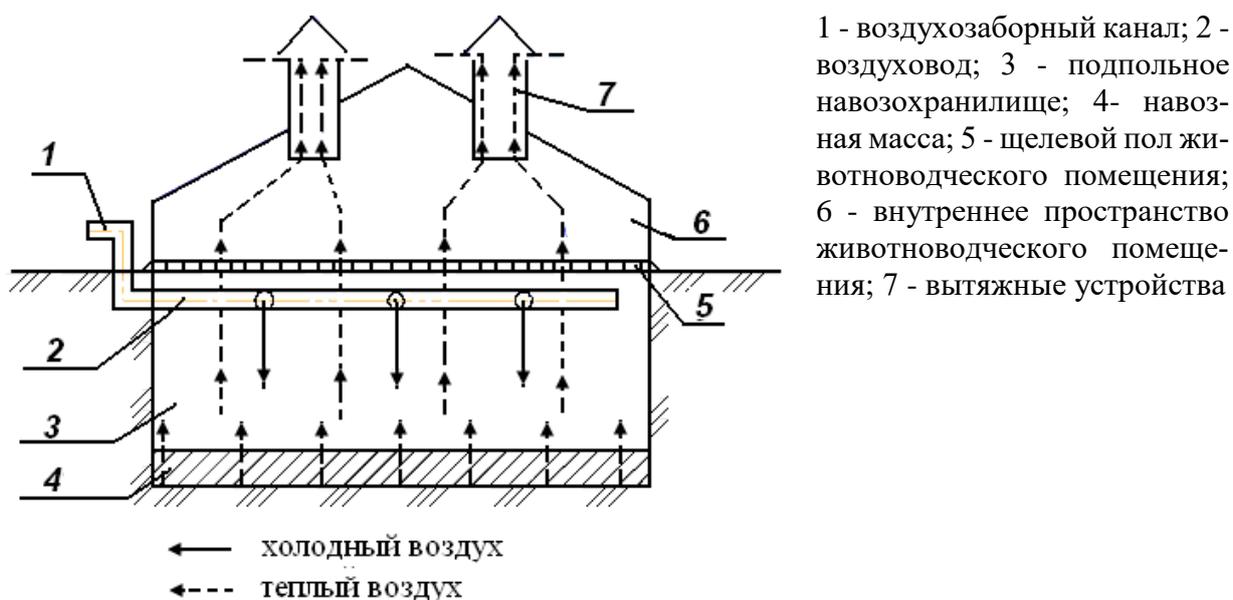
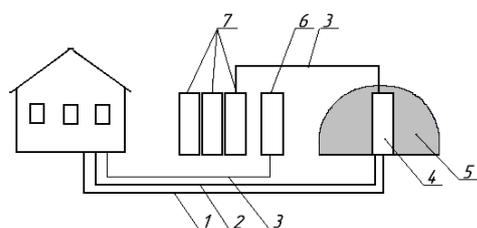


Рисунок 3.4 – Технологическая схема температурно-компенсационной системы обеспечения микроклимата с подпольным навозохранилищем

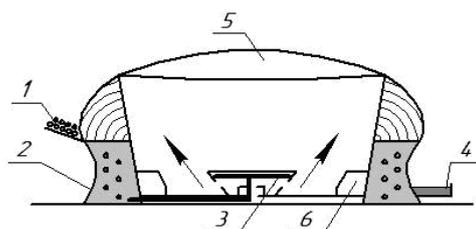
3.2.2 Установки для компостирования с отводом избыточной теплоты

Использование твердой биомассы и, прежде всего, твердых органических отходов (смеси трав, листьев, опилок, соломы и др.), при наличии кислорода разлагающихся с выделением теплоты, для производства тепловой энергии может внести существенный вклад в энергетику. Этот метод основан на процессе бактериального окисления твердых органических веществ с образованием тепловой энергии (от 300 до 600 Вт), которая повышает температуру пропускаемого через массу воздуха до 80-90 °С и подогревает воду, например, которая в дальнейшем используется для обогрева (рис. 3.5 а). Для управления количеством теплоты необходимо регулярное увлажнение смеси, так как постоянная продувка воздухом будет забирать влагу, а при влажности ниже 30 % смесь не разлагается.



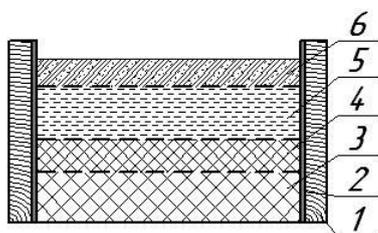
1 – холодная вода, 2 – теплая вода, 3 – газовая труба,
4 – стальной резервуар, 5 – компостная масса, 6 – аккумуля-
лятор, 7 – сборная камера

а



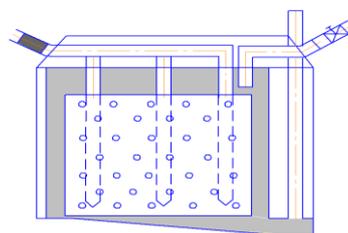
1 – подача органических отходов, 2 – компост, 3 – перемещение потоков теплоты, 4 – извлечение
компоста, 5 – прозрачная крыша, 6 – скамейки

б



1 – деревянный каркас, 2 – полиэтиленовая пленка, 3 – крупномерные отходы, 4 – измельченные отходы,
5 – сложносоставная органика, 6 – почвогрунт

в



1 – контейнер для растительного сырья, 2 – отверстия перфорации, 3 – облицованный приямок,
4 – лоток, 5 – сокоборник, 6 – вертикальный стояк, 7 – приточный воздухоотвод, 8 – насос, 9 – перфори-
рованные трубы, 10 – вытяжной воздухоотвод, 11 – фильтр, 12 – вентиль

г

Рисунок 3.5 – Варианты применения теплоты, получаемой от компоста

Японские дизайнеры разработали чайный домик круглой формы (рис. 3.5 б), который обогревается теплотой, получаемой от компоста, заложенного по периметру конструкции. Лапин Ю.Н. предлагает использовать теплоту, получаемую от разложения растительного сырья, для отопления экоддома.

Для большинства фермерских хозяйств актуальны так называемые «теплые грядки», позволяющие высевать семена и высаживать рассаду в ранние сроки. Наиболее эффективен и перспективен способ обогрева почвы теплотой, которая выделяется при компостировании (рис. 3.5 в).

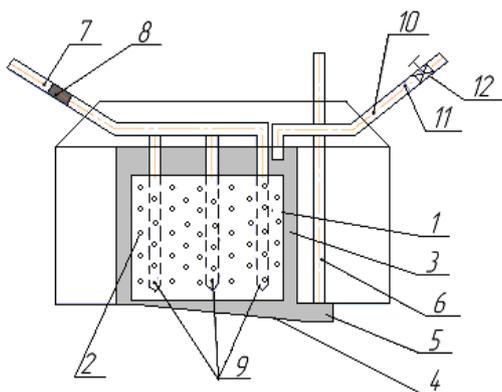
Приточно-вытяжной теплоутилизатор (рис. 3.5 г) для отвода избыточных тепловыделений от растительного сырья или твердых бытовых отходов, заложенных на компост, позволяет обогревать помещения различного назначения (производственные, бытовые, вспомогательные и др.).

Кроме того, выделяющуюся теплоту можно использовать для подсушивания сельскохозяйственной продукции: зерна, грубых кормов (сена, соломы), корнеклубнеплодов и пр.

Для реализации всех перечисленных направлений использования теплоты, выделяющейся при разложении органики, предложен простой и недорогой теплоутилизатор, отличающийся малой металлоемкостью, простотой монтажа и демонтажа.

Теплоутилизатор представляет собой систему трубопроводов, заглубленных в растительное сырье, которое может находиться в бурте или в контейнере, помещенном в облицованный приямок.

Конструктивно приточно-вытяжной теплоутилизатор (рис. 3.6) состоит из контейнера 1, выполненного из металлических листов с отверстиями 2 и помещенного в облицованный приямок 3 с лотком 4, сокосборником 5 и вертикальным стояком 6, системы нагнетания, выполненной из цельной трубы 7 со встроенным насосом 8 и перфорированных труб 9 для подачи воздуха к растительному сырью повышенной влажности, системы воздухоотведения, состоящей из трубы 10 со встроенным фильтром 11 и вентилем 12 для удаления нагретого воздуха.



1 – контейнер для растительного сырья, 2 – отверстия перфорации, 3 – облицованный приямок, 4 – лоток, 5 – сокосборник, 6 – вертикальный стояк, 7 – приточный воздухоотвод, 8 – насос, 9 – перфорированные трубы, 10 – вытяжной воздухоотвод, 11 – фильтр, 12 – вентиль

Рисунок 3.6 – Приточно-вытяжной теплоутилизатор

Контейнер для растительного сырья (рис 3.7) состоит из каркаса в форме куба 1, выполненного из металлического уголка; боковых металлических с перфорацией стенок; днища, состоящего из двух створок, каждая из которых выполнена из цельных листов металла с перфорацией для облегчения массы конструкции и, в частности, стекания силосного сока; замков-защелок, петель, соединяющих боковые стенки и створки днища, и проушин для захвата грузоподъемным механизмом.

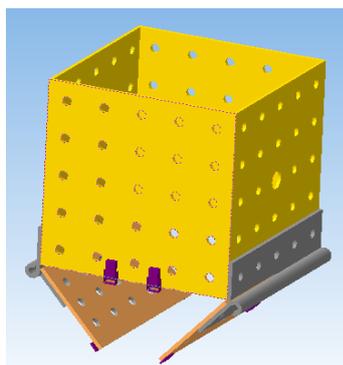


Рисунок 3.7 – Контейнер для растительного сырья

механизмом.

Контейнер выполнен из перфорированной оцинкованной стали Rv 10-14 (2x1000x2000 мм) массой 17,3 кг и 40% содержанием отверстий. Габариты контейнера $V_k = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1 \text{ м}^3$.

Масса контейнера, выполненного из перфорированных листов, определяется по формуле

$$m_{кп} = m_{лп} + m_{уг} + m_{ан} + m_{пт} \quad (3.1)$$

где $m_{лп}$ – суммарная масса перфорированного листа, кг;

$m_{уг}$ – суммарная масса уголка, кг;

$m_{ан}$ – масса армированного прута, кг;

$m_{пт}$ – суммарная масса петель, кг.

Для изготовления контейнера необходимо 2,5 перфорированных листа, масса которых составит 43,25 кг.

Для изготовления контейнера также необходим уголок оцинкованный 40х40х4, массой 2,5 кг/м. Для производства контейнера необходимо 4 м, тогда суммарная масса уголка 40х40х4 составит 10 кг.

Масса 1 м армированного прута диаметром 10 мм составляет 0,6 кг.

Суммарная масса петель рояльных 1020 мм составит 4 кг, так как масса одной петли равна 2 кг.

$$m_{кп} = 43,25 + 10 + 0,6 + 4 = 57,85 \text{ кг}$$

Масса контейнера, выполненного из листов без перфорации, определяется по формуле

$$m_{кбп} = m_{лбп} + m_{уг} + m_{ап} + m_{пт} \quad (3.2)$$

где $m_{лбп}$ – суммарная масса листа без перфорации, кг;

Так как лист имеет 40% отверстий от всей площади листа, то масса листа без перфорации составит $17,3/0,6 = 29$ кг. Тогда масса 2,5 листов без перфорации составит 72,5 кг.

$$m_{кп} = 72,5 + 10 + 0,6 + 4 = 87,1 \text{ кг}$$

Разность масс контейнера без перфорации и с перфорацией составляет:

$$m_p = m_{кб} - m_{кп} \quad (3.3)$$

где $m_{кб}$ – масса контейнера без перфорации, кг

$m_{кп}$ – масса контейнера с перфорацией, кг.

$$m_p = 87,1 - 57,85 = 29,25 \text{ кг}$$

Таким образом, наличие перфорации существенно облегчает конструкцию контейнера.

Теплоутилизатор (рис. 2.6) работает следующим образом. Контейнер заполняют растительным материалом повышенной влажности (силосом, сенажом, опилками, отходами кормов и пр.), который помещают в облицованный приямок или закладывают органику в бург.

Растительное сырьё при хранении самосогревается под действием микробиологических процессов. Через определенное время с помощью встроенного насоса системы нагнетания подают воздух через перфорированные трубы в нижнюю часть контейнера, при этом теплый воздух выдавливается из растительного сырья и удаляется через отверстия в стенках контейнера с помощью открытого вентиля по системе воздухоотведения со встроенным фильтром. По наклонному лотку жидкая фракция (сок), поступающая из контейнера через отверстия, стекает в сокосборник, откуда через вертикальный стояк периодически откачивается. После удаления теплого воздуха из растительного сырья вентиль системы воздухоотведения закрывают. По мере необходимости процесс повторяется. Таким образом, происходит утилизация теплоты, образующейся в процессе хранения растительного сырья повышенной влажности.

4 Теоретическое обоснование конструктивно-режимных параметров теплоутилизатора

Выбранный на основе анализа принцип работы устройства для утилизации теплоты, образующейся при гниении органики, относится к температурно-компенсаторным. В качестве компенсатора теплоты используется компост из растительных материалов или силос низкого качества, с развитым процессом гниения. Способ теплоутилизации - конвективный теплообмен.

Конвективный теплообмен, процесс переноса теплоты, происходящий в газах, обусловлен совместным действием двух механизмов переноса теплоты – собственно конвективным переносом и теплопроводностью. В случае конвективного теплообмена распространение теплоты в пространстве осуществляется за счёт переноса теплоты при перемещении текучей среды из области с более высокой температурой в область с меньшей температурой, а также за счёт теплового движения микрочастиц и обмена кинетической энергией между ними. Участие теплопроводности в процессах конвективного теплообмена приводит к

тому, что на эти процессы оказывают существенное влияние теплофизические свойства среды: коэффициент теплопроводности, теплоёмкость, плотность.

Если движение газа вызвано наличием неоднородного поля температуры, а, следовательно, и неоднородной плотности в среде, то такое движение называют свободным или естественным, а процесс конвективного теплообмена - свободной или естественной конвекцией. Так как в конструкции теплоутилизатора предусмотрен насос (осевой вентилятор) для аэрации, необходимо учитывать как вынужденную, так и свободную конвекцию.

Кроме того, для выбранной схемы теплоутилизатора будет характерна конвективная теплоотдача, являющаяся наиболее распространенным случаем конвективного теплообмена. Теплоотдача - это процесс, протекающий на границе раздела двух фаз (твердой и газообразной). Задачей расчета является нахождение плотности теплового потока на границе раздела фаз, то есть величины, показывающей, какое количество теплоты получает или отдает единица поверхности раздела фаз за единицу времени.

Помимо указанных выше факторов, влияющих на процесс конвективного теплообмена, плотность теплового потока зависит также от размеров и температуры ограждающей поверхности и температуры среды.

Для описания конвективной теплоотдачи используется формула

$$q_{cm} = a \cdot (T_0 - T_{cm}) \quad (4.1)$$

где q_{cm} - плотность теплового потока на поверхности, Вт/м²;

a - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С);

T_0 и T_{cm} - температуры среды (твердой или газообразной) и поверхности соответственно, °С.

Величина $(T_0 - T_{cm})$ называется температурным напором. Коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность процесса теплоотдачи. Он возрастает при увеличении скорости движения среды и при переходе от ламинарного режима движения к турбулентному в связи с интенсификацией конвективного переноса.

Он также всегда больше для тех сред, у которых выше коэффициент теплопроводности. Коэффициент теплоотдачи существенно повышается, если на поверхности происходит фазовый переход (например, испарение или конденсация), всегда сопровождающийся выделением (поглощением) скрытой теплоты.

Основной задачей в расчётах процессов конвективной теплоотдачи является нахождение коэффициента теплоотдачи. Чаще всего коэффициент теплоотдачи определяют экспериментальным путём. При этом как результаты теоретических решений, так и экспериментальные данные обрабатываются методами теории подобия и представляются обычно в следующем безразмерном виде:

- для вынужденной конвекции

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (4.2)$$

- для свободной конвекции

$$Nu = f(Gr, Pr) \quad (4.3)$$

где Nu - безразмерный коэффициент теплоотдачи - число Нуссельта,

Re – число Рейнольдса;

Gr – число Грассхофа;

Pr – число Прандтля;

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} \quad (4.4)$$

где L - характерный размер потока,

λ - коэффициент теплопроводности.

Число Рейнольдса Re , характеризующее соотношение сил инерции и внутреннего трения в потоке, определяется из выражения

$$Re = \frac{u \cdot L}{\nu} \quad (4.5)$$

где u - характерная скорость движения среды;

ν - кинематический коэффициент вязкости;

Число Прандтля Pr , определяющее соотношение интенсивностей термодинамических процессов, рассчитывается по формуле

$$Pr = \frac{\nu}{a} \quad (4.6)$$

где a - коэффициент теплопроводности.

Число Грассхофа Gr , характеризующее соотношение архимедовых сил, сил инерции и внутреннего трения в потоке, определяется из выражения

$$Gr = \frac{g \cdot L^2 \cdot \beta \cdot \Delta T}{\nu^2} \quad (4.7)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²;

β - термический коэффициент объёмного расширения.

Тепловое излучение - электромагнитное излучение со сплошным спектром, испускаемое нагретыми телами за счёт их внутренней энергии, один из трёх элементарных видов переноса тепловой энергии (помимо теплопроводности и конвекции). Мощность излучения абсолютно чёрного тела, согласно закону Стефана - Больцмана прямо пропорциональна площади поверхности и четвёртой степени температуры тела, определяется по формуле

$$P = S \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (4.8)$$

где ε - степень черноты;

S - площадь поверхности, м²;

σ - постоянная Стефана-Больцмана, кал/см²·мин · град⁴;

T - температура тела, °С.

При помощи закона Планка для излучения постоянную σ можно определить из выражения, определяется из выражения

$$\sigma = \frac{\pi^2 \cdot k^4}{60 \cdot c^2 \cdot \hbar^3} \quad (4.9)$$

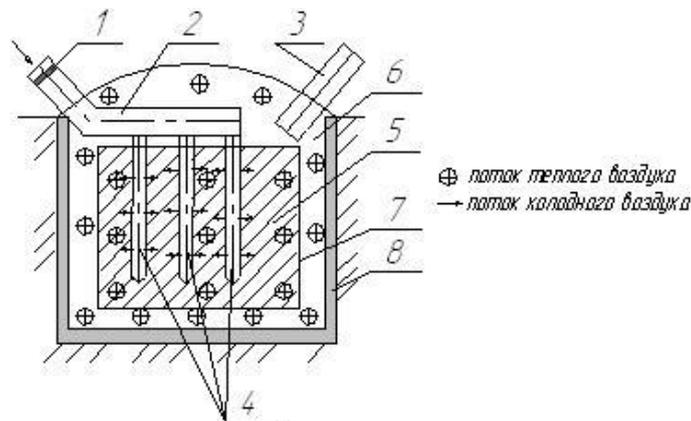
где \hbar - постоянная Планка;

k - постоянная Больцмана;

c - скорость света, м/с.

Распределение энергии по спектру излучения описывается формулой Планка, в соответствии с которой в спектре имеется единственный максимум, положение которого определяется законом Вина.

Рассмотрим тепловые потоки в приточно-вытяжном теплоутилизаторе (рис. 4.1).



- 1 – насос; 2 – приточная труба; 3 – вытяжная труба;
 4 – перфорированная труба для аэрации; 5 – растительное сырьё;
 6 – воздушное пространство; 7 – контейнер; 8 – облицовка прямка

Рисунок 4.1 - Схема конвективного теплообмена в компостируемом сырье

Конвективный тепловой поток от внутренней поверхности облицованной стенки прямка и укрывного материала определяется по формуле

$$Q_{\text{кон}}^B = \sum S_{\text{пл}} A_3 \sqrt[3]{(t_{\text{об}} - t_{\text{укр}})^4} \quad (4.10)$$

где $t_{\text{об}}$ – температура облицовки, °С;

$t_{\text{укр}}$ – температура укрывного материала, °С;

A_3 – альбеда поверхности;

$\sum S_{\text{пл}}$ – суммарная поверхность ограждений, м²,

$$\sum S_{nl} = S_{гор} + S_{верт} \quad (4.11)$$

где $S_{гор}$ – площадь горизонтальных ограждений, м²;

$S_{верт}$ – площадь вертикальных ограждений, м²;

Поток теплового излучения от внутренней поверхности облицованной стенки прямка и укрывного материала определяется из выражения

$$Q_{изл}^B = 0,814 \cdot T_{np} \cdot (S_{гор} + S_{верт}) \cdot (t_{nl} - t_k) \quad (4.12)$$

где T_{np} – приведенный коэффициент излучения,

$$T_{np} = \frac{5,67}{\frac{1}{\varepsilon_{об}} \cdot \frac{S_{об}}{S_{укр}} \left(\frac{1}{\varepsilon_{укр}} - 1 \right)} \quad (4.13)$$

где $\varepsilon_{об}$ – коэффициент черноты облицовки;

$\varepsilon_{укр}$ – коэффициент черноты укрывного материала;

$S_{об}$ – площадь поверхности облицовки, м²;

$S_{укр}$ – площадь поверхности укрывного материала, м².

В качестве укрывного материала можно использовать: полиэтиленовую пленку, поликарбонатные листы, в качестве утеплителя в осенне-зимний период – войлок, плотную ткань.

Тепловой поток, затрачиваемый на конденсацию водяного пара, определяется по формуле

$$Q_{конд} = 0,004 \cdot q_c (0,5 \cdot t_{орг} + 0,5 t_{укр} + 273)^{0,42} \cdot \sqrt[3]{t_{орг} - t_{укр}} \cdot \Delta \varepsilon^{1,4} \cdot \sum S \quad (4.14)$$

где q_c – удельная теплота при конденсации пара, Вт/кг;

$t_{орг}$ – температура органического сырья, °С;

$t_{укр}$ – температура укрывного материала, °С;

$\Delta \varepsilon$ – разность объемного содержания пара в воздухе, %;

$$\Delta\varepsilon = \frac{H \cdot (P_{нтс} - P_{нтнл})}{P_{в}} \quad (4.15)$$

где $P_{нтс}$ – давление насыщенного пара при $t_{орг}$, Па;

$P_{нтукр}$ – давление насыщенного пара при $t_{укр}$, Па;

$P_{в}$ – барометрическое давление воздуха, Па;

H – относительная влажность воздуха, %;

Тепловой поток аккумуляции почвы рассчитывается по формуле

$$Q_{ак} = 0,0035 \cdot S_K \sqrt{\lambda_n \cdot C_n \cdot \rho_n \cdot \Delta t} \quad (4.16)$$

где λ_n – коэффициент теплопроводности почвы, Вт/м·°С;

C_n – теплоемкость почвы, Дж/кг·°С;

ρ_n – плотность почвы, кг/м³;

Δt – амплитуда колебаний температуры (суточная), °С;

Поток теплового излучения наружной поверхности укрывного материала (для бурта и для приямка) описывается выражением

$$Q_{изл.укр}^H = \frac{3,7(v \cdot \rho_n)}{h^{0,2}} \cdot S_{укр} \cdot (t_{укр} - t_в) \quad (4.17)$$

где v – скорость ветра, м/с;

h – высота сооружения - компостной кучи, бурта, м (рис. 4.2);

ρ_n – плотность воздуха, кг/м³;

$S_{укр}$ – площадь поверхности укрывного материала, м²;

$t_в$ – температура окружающего воздуха, °С.

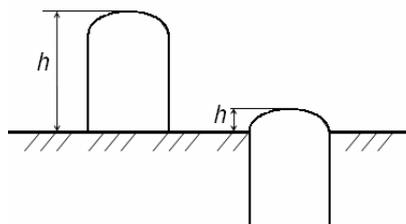


Рисунок 4.2 – Схема для определения высоты сооружения

Тепловой поток излучения от наружной поверхности ограждения в пространстве определяется по формуле

$$Q_{изл.огр}^H = 5,67 \cdot \varepsilon_{укр} \cdot S_{укр} \cdot 133,2 \cdot [(0,814 \cdot t_n + 55,55) \cdot (0,27 - 0,00007 \cdot H \cdot \rho_n \cdot t_n) \left(\frac{\delta \cdot S_{в.обл}}{S_{укр}} \right) + 0,814(t_{укр} - t_n)] \quad (4.18)$$

где $\varepsilon_{укр}$ - коэффициент черноты укрывного материала;

$S_{укр}$ - площадь поверхности укрывного материала, м²;

$S_{в.обл}$ - площадь вертикальных ограждений, м²;

t_n - температура наружного воздуха, °С;

H - относительная влажность, %;

δ - коэффициент для безоблачного неба.

Тепловой поток, затраченный на испарение влаги, будет равна

$$Q_{исп} = \frac{3600 \cdot (693 - 0,66 \cdot t_e) \cdot \eta \cdot \beta \cdot \Delta\rho \cdot S_{обл} \cdot P_n}{P_e} \quad (4.19)$$

где η - коэффициент неполноты водности;

$S_{обл}$ - площадь поверхности облицовки, м²;

P_n - нормальное атмосферное давление, Па;

P_e - барометрическое давление воздуха, Па;

$\Delta\rho = \rho_n(1 - 0,85)$ - дефицит влажности, кг/м³;

β - коэффициент массообмена;

$$\beta = 0,66 \cdot \frac{D}{\sqrt{S_{обл}}} \left(\frac{3600 \cdot g \cdot h^3}{\nu \cdot D} \cdot \frac{\rho_{втв} - \rho_{втл}}{\rho_{втв}} \right)^{0,26} \quad (4.20)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

$\rho_{втв}$ - плотность внутреннего воздуха, кг/м³;

$\rho_{тукр}$ - плотность укрывного материала, кг/м³;

D - коэффициент диффузии, м²/ч;

$$D = 2,1 \cdot 10^{-5} \left(\frac{t_{нл} + 273}{273} \right)^{1,89} \cdot \frac{P_{на}}{P_г} \quad (4.21)$$

Тепловой поток, затраченный на инфильтрацию, рассчитывается по формуле

$$Q_{инф} = \left(\frac{\rho_г - \rho_{укр}}{\rho_г} \right) \cdot (Q_{к2} + Q_{пр}) \quad (4.22)$$

Тепловой поток, поступающий к теплоутилизатору, будет равен сумме ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

$$Q_{пост} = Q_{кон}^B + Q_{изл}^B + Q_{конд} + Q_{ак} \quad (4.23)$$

где $Q_{кон}^B$ – конвективный тепловой поток от внутренней поверхности

облицованной стенки прямка и укрывного материала, Вт;

$Q_{изл}^B$ – тепловой поток излучения от внутренней поверхности

облицованной стенки прямка и укрывного материала, Вт;

$Q_{конд}$ – тепловой поток, обусловленный конденсацией водяного пара, Вт;

$Q_{ак}$ – тепловой поток аккумуляции почвы, Вт.

Тепловой поток, отходящий от теплоутилизатора, будет равно сумме ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

$$Q_{отх} = Q_{изл.укр}^H + Q_{изл.огр}^H + Q_{исп} + Q_{инф} \quad (4.24)$$

где $Q_{изл.укр}^H$ - поток теплового излучения наружной поверхности

укрывного материала, Вт;

$Q_{изл.огр}^H$ – тепловой поток излучения от наружной поверхности

ограждения в пространстве, Вт;

$Q_{исп}$ – тепловой поток, затраченный на испарение влаги, Вт;

$Q_{ин}$ – тепловой поток, затраченный на инфильтрацию, Вт;

Результирующий тепловой поток, направленный от теплоутилизатора, будет равен

$$\Delta Q_{уст} = Q_{пост} - Q_{отх} \quad (4.25)$$

Доля теплового потока органической массы, от результирующего теплового потока в летнее время

$$\psi_{лет} = \frac{\Delta Q_{уст}}{Q_c} \quad (4.26)$$

где Q_c - поток теплоты от растительного сырья, Вт;

Основываясь на работах можно заключить, что в зимний период тепловой поток $\Delta Q_{уст}$ снижается примерно в 10 раз, тогда доля теплового потока органической массы от результирующего теплового потока в зимнее время с учетом коэффициента снижения теплового потока будет равна

$$\psi_{зим} = \frac{\Delta Q_{уст}}{Q_c \cdot k_3} \quad (4.27)$$

где k_3 – коэффициент, учитывающий снижение теплового потока в зимнее время, $k_3 < 10$.

Следовательно, теплота от разогрева растительного материала может до 10 раз сократить подогрев воздуха извне при использовании теплоутилизатора. При этом снижение на инфильтрацию возможно при условии, что отношение площади инфильтрации установки к площади основания установки меньше или равно 0,4%

$$\chi = \frac{S_{ин}}{S_{осн}} \leq 0,4\% \quad (4.28)$$

где $S_{ин}$ – площадь инфильтрации установки, м²;

$S_{осн}$ – площадь основания установки, м²;

Так как площадь инфильтрации равна $S_{ин} = 0,004 \cdot S_{осн}$ а инфильтрация осуществляется через трубопровод площадью сечения $S_{ин} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, то оптимальный диаметр вытяжной трубы определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \chi \cdot S_{осн}}{\pi}} \quad (4.29)$$

где χ – коэффициент снижения на инфильтрацию;

$S_{осн}$ – площадь основания установки, м²;

Количество необходимого компостируемого сырья для обогрева помещения с учетом плотности заложения растительного сырья определяется из выражения

$$G = \kappa_Q \cdot V_{ном} \quad (4.30)$$

где $V_{ном}$ – объем обогреваемого помещения, м³;

κ_Q – коэффициент, учитывающий количество теплоты, необходимой для обогрева помещения

(принимается равным 0,010...0,018).

Необходимая мощность насоса зависит от теплоты, выделяемой растительным сырьем, она определяется по формуле

$$N = \kappa_p \cdot Q_c + \kappa_n \quad (4.31)$$

где Q_c - теплота, выделяемая растительным сырьем, Вт;

κ_p – коэффициент, учитывающий плотность заложения растительного сырья (принимается равным 5);

κ_n – коэффициент, учитывающий тепловые потери (принимается равным 65 Вт).

Длина вытяжной трубы определяется по формуле

$$l_4 = \frac{h}{\sin \alpha} \quad (4.32)$$

где h – расстояние между серединами приточных и вытяжных каналов, зависящее от температуры внутреннего и наружного воздуха, м;
 α – угол наклона вытяжной трубы.

Общая длина приточной трубы определяется по формуле

$$l_{n.m.} = l_1 + l_2 \quad (4.33)$$

где l_1 – длина наклонной части приточной трубы, м, принимается

$$l_1 = 0,5 \text{ м};$$

l_2 – длина горизонтальной части приточной трубы, зависящая от длины облицованного приямка, м;

$$l_2 = l_{обл.пр.} - a \quad (4.34)$$

где $l_{обл.пр.}$ – длина облицованного приямка, м;

a – запас, для размещения конца вытяжной трубы, м.

Длина труб аэрации зависит от глубины облицованного приямка и определяется по формуле

$$l_3 = H - b \quad (4.35)$$

где H – глубина облицованного приямка, м;

b – расстояние от дна облицованного приямка до нижнего конца трубы аэрации, м (принимается от 0,1 до 0,2 м).

Расстояние между нижним концом труб аэрации и нижним концом вытяжной трубы определяется по формуле

$$h = h_1 - h_2 \quad (4.36)$$

где h_1 – расстояние от нижнего конца вытяжной трубы до дна приямка, м;

h_2 – расстояние от нижнего конца трубы аэрации до дна приямка, м.

Основными параметрами, влияющими на работу и производительность приточно-вытяжного теплоутилизатора, являются: длина элементов приточной трубы l_1 , l_2 , длина вытяжной трубы l_4 , длина трубы аэрации l_3 , количество труб аэрации n , подсоединенных к приточной трубе, диаметр приточной трубы D_1 , диаметр вытяжной трубы D_2 , диаметр трубы аэрации d , перепад уровней h между нижними концами трубы аэрации и вытяжной трубы, мощность насоса, наличие и тип фильтра, наличие вентиля (рис. 4.3).

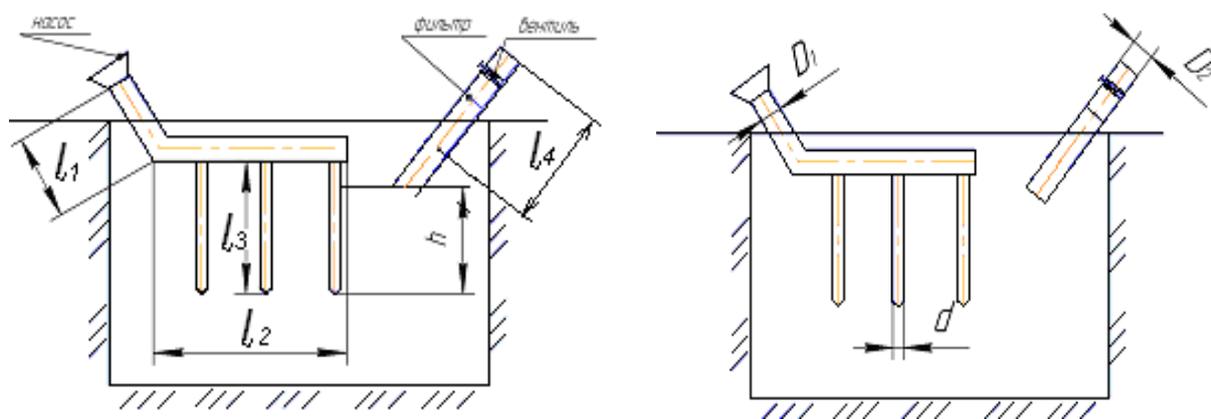


Рисунок 4.3 – Конструктивные параметры теплоутилизатора

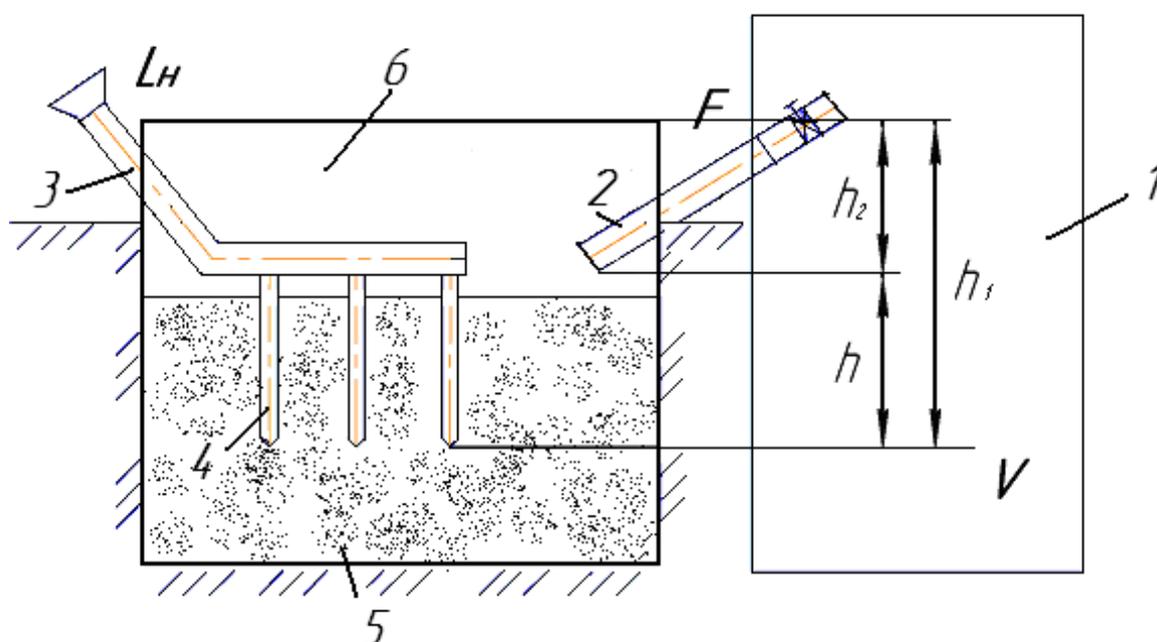
Для помещений, где люди бывают эпизодически (бойлерная, бытовое помещение, комната отдыха, щитовая и само животноводческое помещение) воздух от теплоутилизатора можно подавать непосредственно после фильтрации. Для других помещений, где люди находятся большую часть рабочего времени (например, молочный блок), предлагается использование замкнутого цикла при обогреве помещения.

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. 4.4).

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. 4.5).

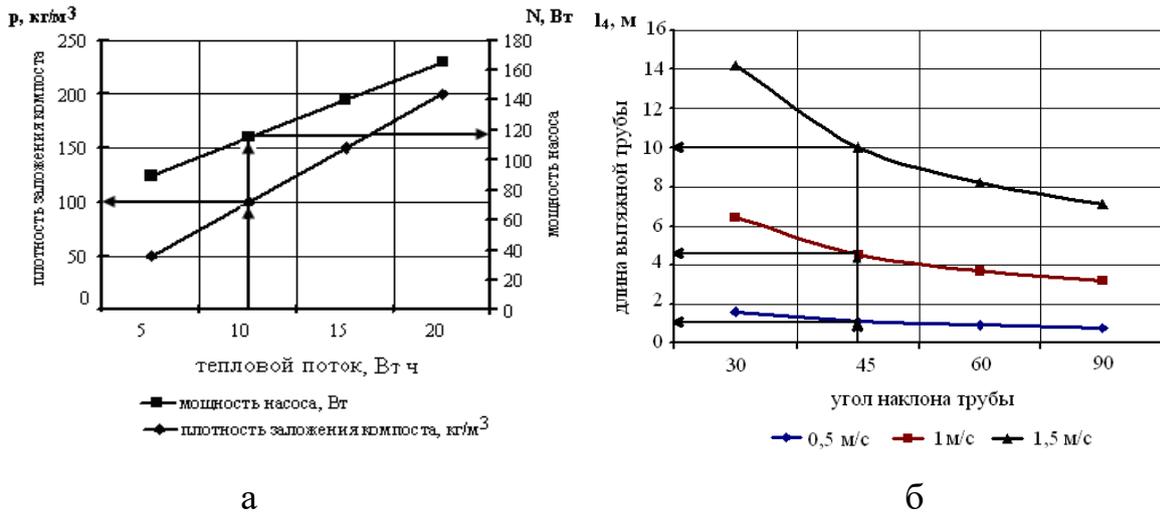


1 – отопляемое помещение объемом V , m^3 ; 2 – вытяжной воздуховод с площадью поперечного сечения F , m^2 ; 3 – приточный воздуховод со встроенным насосом, мощностью L_n , $m^3/ч$; 4 – вертикальные трубы аэратора; 5 – компост; 6 – свободное пространство под укрывным материалом

Рисунок 4.4 - Схема для определения конструктивных параметров теплоутилизатора

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»: $100 \text{ кг}/m^3$ 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 требуемого теплового потока;
 б) номограмма для определения длины вытяжной трубы в зависимости от угла наклона

Рисунок 4.5 – 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. 4.6).

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 требуемого количества теплоты и количества компоста считываются по осям «У» - в нашем случае $5 \cdot 10^3$ Вт и $0,1$ т соответственно.

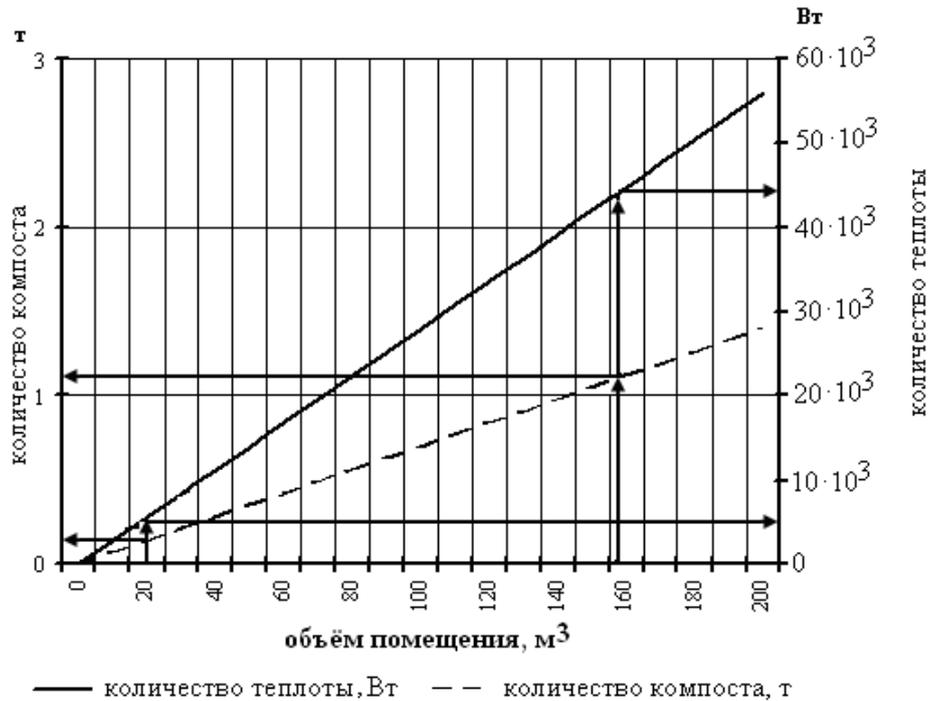


Рисунок 4.6 – Номограмма для определения необходимого количества компоста и теплоты

Для определения производительности приточной вентиляции и площади поперечного сечения вытяжной трубы, разработана номограмма (рис. 4.7).

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 ($0,01 \text{ м}^2$).

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 4.1. Таблицы для определения скорости движения воздуха в вытяжной трубе при различном расстоянии между приточным и вытяжным каналом и наружной температуре 0 и -10°C .

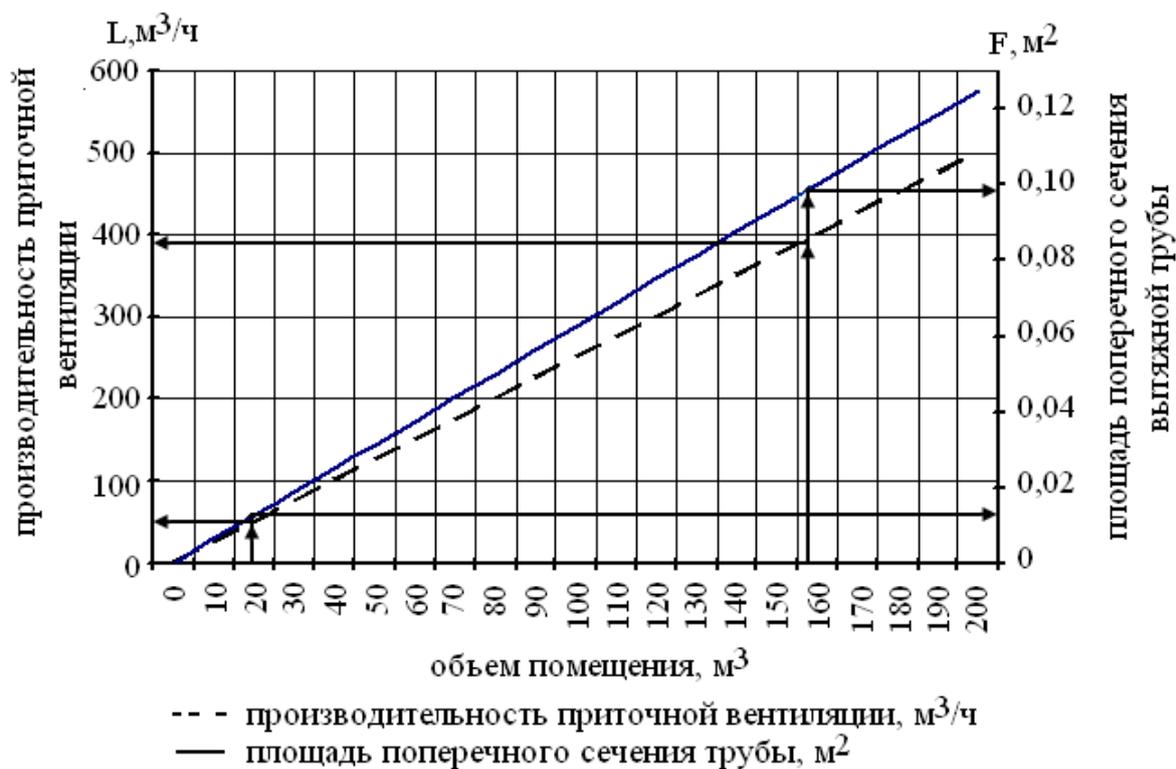


Рисунок 4.7 – Номограмма для определения производительности приточной вентиляции и площади поперечного сечения вытяжной трубы

Таблица 4.1 - Скорость движения воздуха в вытяжной трубе при различном расстоянии между приточным и вытяжным каналом

Расстояние между серединами приточных и вытяжного каналов, м	Внутренняя температура в помещении, (°C)						
	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

Так как приточно-вытяжной теплоутилизатор состоит из системы воздуховодов и приемка или бурта с компостируемым сырьем, для расчета его производительности необходимо знать количество теплоты, выделяемой при разложении органики.

Количество теплоты, которое выделится при брожении растительного сырья (силоса), будет прямо пропорционально теплоте, выделяемой при образовании 1 моля молочной кислоты

$$Q_{\text{бр}} = \nu \cdot Q_{0\text{бр}} \quad (4.37)$$

где ν – число молей молочной кислоты, моль;

$$\nu = \frac{m_{\text{к}}}{\mu_{\text{к}}} \quad (4.38)$$

где $m_{\text{к}}$ – масса молочной кислоты в данный момент времени, кг;

$$m_{\text{к}} = \kappa_1 \cdot m_{\text{орг}} \quad (4.39)$$

где $m_{\text{орг}}$ – масса органических веществ, кг;

κ_1 – коэффициент, учитывающий долю молочной кислоты, связанную с массой бродившей органики, %;

$$m_{\text{орг}} = \kappa_2 \cdot m_{\text{бр}} \quad (4.40)$$

где κ_2 – коэффициент, определяющий долю органических веществ, %;

$m_{\text{бр}}$ – масса веществ, участвующих в брожении, кг,

$$m_{\text{бр}} = \kappa_3 \cdot m_{\text{с}} \quad (4.41)$$

где κ_3 – коэффициент, учитывающий долю забродившей органической массы, %;

$m_{\text{с}}$ – масса заложенной органики, кг.

Подставляя полученные результаты в исходную формулу, получим количество теплоты, которое выделится при молочнокислом брожении

$$Q_{\bar{op}} = \frac{m_k}{\mu_k} Q_o = \frac{K_1 K_2 K_3 m_c}{\mu} Q_{0\bar{op}} \quad (4.42)$$

Коэффициенты $k_1(t)$, $k_2(t)$, $k_3(t)$ являются обязательными функциями времени.

Для нахождения коэффициентов решаем дифференциальное уравнение методом разделения переменных

$$\frac{dm}{dt} = \lambda m, \quad \frac{dm}{m} = \lambda dt, \quad \int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = \int_{t_0}^t \lambda dt$$

где λ – удельная скорость брожения массы силоса, ед/ч;

$$t_0 = 0, \quad \ln m \Big|_{m_0}^m = \lambda \cdot t, \quad \ln m - \ln m_0 = \lambda \cdot t, \quad \ln m - \ln m_0 = \lambda \cdot t$$

$$m_{\bar{op}} = m_o \cdot e^{\lambda \cdot t} \quad (4.43)$$

Тогда коэффициент, учитывающий долю забродившей органической массы, можно найти из выражения

$$k_3 = \frac{m_{\bar{op}}}{m_c} = \frac{m_o e^{\lambda \cdot t}}{m_c} = \frac{\alpha_{11} \cdot m_c}{m} e^{\lambda \cdot t} = \alpha_{11} \cdot e^{\lambda \cdot t}$$

$$k_3 = \alpha_{11} \cdot e^{\lambda \cdot t} \quad (4.44)$$

где α_{11} – коэффициент, определяющий начальный процент брожения силоса.

Аналогично выразим коэффициент k_2 , определяющий долю органических веществ

$$k_2 = \alpha_{22} \cdot e^{\beta \cdot t} \quad (4.45)$$

где α_{22} – коэффициент, определяющий начальное количество органических веществ;

β – удельная скорость развития массы органических веществ, ед/ч.

Коэффициент, учитывающий долю молочной кислоты, связанную с массой бродившей органики, определяется по формуле

$$k_1 = \alpha_{33} \cdot e^{\gamma \cdot t} \quad (4.46)$$

где α_{33} – коэффициент, определяющий начальное количество молочной кислоты;

γ – удельная скорость роста молочной кислоты, ед/ч.

Подставив коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 в выражение (5.42), получим формулу для определения теплоты брожения органики

$$Q_{обр} = \frac{\alpha_{33} \cdot e^{\gamma \cdot t} \cdot \alpha_{22} \cdot e^{\beta \cdot t} \cdot \alpha_{11} \cdot e^{\lambda \cdot t} \cdot m_c}{\mu} \cdot Q_{обр};$$

$$Q_{обр} = \frac{\alpha_{33} \cdot \alpha_{22} \cdot \alpha_{11}}{\mu} \cdot e^{(\gamma + \beta + \lambda)t} \cdot m_c \cdot Q_{обр} \quad (4.47)$$

где γ , β , λ – удельные скорости (взяты в долях).

Для получения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 определим процент брожения.

На основании уравнения регрессии получим начальный процент брожения $\alpha = 16\% = 0,16$, k_3 [0,16;1]

$$k_3 = \alpha_{11} \cdot e^{\lambda \cdot t} \quad (4.48)$$

Тогда при $t = 0$, $k_{3н} = \alpha_{11} = 0,16$

За расчетный примем следующий период [0;96] ч, тогда $k_{3к} = 0,8$,

$$0,8 = 0,16 \cdot e^{\lambda \cdot t}, \quad e^{\lambda \cdot t} = \frac{0,8}{0,16}, \quad \lambda \cdot t = \ln \frac{1}{0,16} \Rightarrow \lambda = \frac{\ln \frac{0,8}{0,16}}{96} = 0,017, \quad 1/\text{ч}, \quad \lambda = 0,017 \text{ ч}^{-1} \text{ и процент}$$

брожения будет изменяться в соответствии с законом

$$k_3 = 0,16 \cdot e^{0,017t} \quad (4.49)$$

Определим процент соотношения органических веществ

$$\kappa_2 = \alpha_{22} \cdot e^{\beta \cdot t} \quad (4.50)$$

Интервал значений коэффициента в долях процента [0,018-0,029].

Начальное значение коэффициента при $t = 0$, $\kappa_{2н} = 0,018$

$$e^{\beta \cdot t} = \frac{0,029}{0,018}, \quad \beta \cdot t = \ln \frac{29}{18}, \quad \beta = \frac{\ln \frac{29}{18}}{96} = 0,005 \frac{1}{ч} = 0,005 ч^{-1}$$

Процент соотношения органических веществ будет изменяться в соответствии с законом

$$\kappa_2 = 0,018 \cdot e^{0,005t} \quad (4.51)$$

Определим процент молочной кислоты

$$\kappa_1 = \alpha_{33} \cdot e^{\gamma \cdot t} \quad (4.52)$$

Коэффициент принадлежит интервалу [0,65-0,75]

Начальное значение коэффициента при $t = 0$. $\kappa_{1н} = 0,65$

$$0,75 = 0,65 \cdot e^{\gamma \cdot t}, \quad \gamma \cdot t = \ln \frac{0,75}{0,65}, \quad \gamma = \frac{\ln \frac{0,75}{0,65}}{96} = 0,0015 ч^{-1},$$

$$\kappa_1 = 0,65 \cdot e^{0,0015t} \quad (4.53)$$

Функция при молочно-кислом брожении

$$Q = \frac{0,16 \cdot 0,018 \cdot 0,65 \cdot e^{(0,0015+0,005+0,017) \cdot t}}{0,09} \cdot m_c \cdot Q_{\text{оп}} \quad (4.54)$$

где $\mu_{м.к}$ - молярная масса, кг/моль;

$$Q = 0,02 \cdot e^{0,0235t} m_c \cdot Q_{\text{оп}} = 0,02 \cdot 21,8 \cdot 10^4 e^{0,0235t} m_c$$

Для фазы молочнокислого брожения получаем формулу

$$Q_{бр} = 4,36 \cdot e^{0,0235t} m_c \quad (4.55)$$

Маслянокислое брожение сопровождается:

- 1) увеличением процента растворенных углеводов 3-5% (0,03-0,05);
- 2) увеличением процента масляной кислоты 10-20% (0,1-0,2).

Процент забродившей массы $\kappa_{бр} = 0,8$. Теплота определяется по формуле

$$Q_{м.к} = \frac{m_{м.к}}{\mu_{м.к}} \cdot Q_{ом.к} \quad (4.56)$$

где $m_{м.к}$ – масса силоса при маслянокислом брожении, кг

$$m_{м.к} = \kappa_4 \cdot m_4 = \kappa_4 \cdot \kappa_5 \cdot m_{бр} = \kappa_4 \cdot \kappa_5 \cdot 0,8 \cdot m_c \quad (4.57)$$

где $m_{бр}$ – масса силоса при брожении

κ_4 – коэффициент, учитывающий процент масляной кислоты.

$$\kappa_4 = \alpha_{44} \cdot e^{\lambda_1 t} \quad (4.58)$$

κ_5 – коэффициент, учитывающий процент растворенных углеводов

$$\kappa_5 = \alpha_{55} \cdot e^{\lambda_2 t} \quad (4.59)$$

Зная $\kappa_{40} = 0,1$, $\kappa_{41} = 0,2$, $0,1 = \alpha_{44} \cdot e^{\lambda_1 96}$, $0,2 = \alpha_{55} \cdot e^{\lambda_1 336}$, $\frac{0,2}{0,1} = e^{\lambda_1 336 - \lambda_1 96}$,

$\ln 2 = 240 \cdot \lambda_1$, $\lambda_1 = \frac{\ln 2}{240} = 0,0029 \frac{1}{\mu}$, $0,1 = \alpha_{44} \cdot e^{0,002996}$, $\alpha_{44} = 0,076$, окончательная формула для коэффициента, учитывающего процент масляной кислоты, имеет вид

$$\kappa_4 = 0,076 \cdot e^{0,0029t} \quad (4.60)$$

Зная начальные значения $\kappa_{50} = 0,03$, $\kappa_{51} = 0,05$, $0,03 = \alpha_{55} \cdot e^{\beta_1 96}$,

$$0,05 = \alpha_{55} \cdot e^{\beta_1 336}, \quad \frac{5}{3} = e^{\beta_1 240}, \quad \ln \frac{5}{3} = 240 \cdot \beta_1, \quad \beta_1 = \frac{\ln \frac{5}{3}}{240}, \quad \beta_1 = 0,0021 \frac{1}{\mu}, \quad 0,03 = \alpha_{55} \cdot e^{0,002196}$$

$$, \quad \alpha_{55} = \frac{0,03}{e^{0,2016}} = 0,025$$

Тогда, окончательная формула коэффициента, учитывающего процент растворенных углеводов, имеет вид

$$\kappa_5 = 0,025 \cdot e^{0,0021t} \quad (4.61)$$

Учитывая полученные результаты, окончательная формула маслянокислого брожения примет вид

$$Q_{\text{м.к.}} = \frac{K_4 \cdot K_5 \cdot 0,8 \cdot m_c}{\mu_{\text{к}}} Q_{\text{ом.к.}} = \frac{0,076 \cdot 0,025 \cdot 0,8 \cdot e^{(0,0029+0,0021)t} m_c \cdot 42 \cdot 10^3}{0,088},$$

$$Q_{\text{м.к.}} = 0,73 \cdot e^{0,0049t} \cdot m_c \quad (4.62)$$

Теплота гниения рассчитывается по формуле

$$Q = \nu \cdot Q_{\text{огн}} = \frac{m_{\bar{6}}}{\mu_{\bar{6}}} Q_{\text{огн}} \quad (4.63)$$

Масса растительного материала при брожении рассчитывается по формуле

$$m_{\bar{6}} = \kappa_6 \cdot m_{\text{гн}} \quad (4.64)$$

где $m_{\text{гн}}$ – масса растительного сырья при гниении, кг;

κ_6 – коэффициент, учитывающий процент, белка в гниющей массе

$$\kappa_6 = \alpha_{66} \cdot e^{-\lambda_2 t} \quad (4.65)$$

В начальный момент времени $\kappa_{60} = \alpha_{66} \cdot e^{-\lambda_2 336}$, $\kappa_{61} = \alpha_{66} \cdot e^{-\lambda_2 1440}$,

$$\frac{\kappa_{60}}{\kappa_{61}} = \frac{\alpha_{66} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot 336}}{\alpha_{66} \cdot e^{-\lambda_2 \cdot 1440}}, \quad 10 = e^{(1440-336)\lambda_2}, \quad \ln 10 = 1104 \cdot \lambda_2, \quad \lambda_2 = \frac{\ln 10}{1104} = 0.0021, \quad 1/\text{ч},$$

$$0,1 = \alpha_{66} \cdot e^{-0,0021 \cdot 336}, \quad \alpha_{66} = 0,2$$

Тогда, окончательная формула коэффициента, учитывающего процент, белка, примет вид

$$\kappa_6 = 0,2 \cdot e^{-0,0021t} \quad (4.66)$$

Образование гниющей массы определяется коэффициентом κ_7 , учитывающим процент гниющей массы

$$\kappa_7 = \alpha_{77} \cdot e^{\beta_2 t} \quad (4.67)$$

Масса гниющего материала

$$m_{\text{гн}} = \kappa_7 \cdot m_{\text{бп}} \quad (4.68)$$

где $m_{\text{бп}}$ – масса растительного сырья при брожении, кг.

$$m_{\text{бп}} = 0,8 \cdot m_c \quad (4.69)$$

$$\kappa_7 \in [0,01; 0,4], \quad \text{тогда } 0,01 = \alpha_{77} \cdot e^{\beta_2 \cdot 336}, \quad 0,4 = \alpha_{77} \cdot e^{\beta_2 \cdot 1440}, \quad 40 = e^{(\beta_2 \cdot 1440 - \beta_2 \cdot 336)},$$

$$\beta_2 = \frac{\ln 40}{1104} = 0.0033, \quad 1/\text{ч}, \quad 0,01 = \alpha_{77} \cdot e^{0,0033 \cdot 336}, \quad \alpha_{77} = 0,003$$

$$\kappa_7 = 0,003 \cdot e^{0,0033t} \quad (4.70)$$

Так как масса брожения равна $m_{\text{бп}} = 0,8 \cdot m_c$, то теплота гниения определится по формуле $Q_{\text{гн}} = \frac{\kappa_6 \cdot \kappa_7 \cdot 0,8}{\mu} m_c \cdot Q_{\text{огн}} = \frac{0,2 \cdot 0,003 \cdot 0,8 \cdot e^{(0,0033 - 0,0021)t}}{0,432} m_c \cdot 50$

$$Q_{\text{гн}} = 0,056 \cdot e^{0,0011t} \cdot m_c \quad (4.71)$$

Количество теплоты, которая будет выделяться за весь период ухудшения качества силоса, определится из выражения

$$Q = Q_{\text{бр}} + Q_{\text{м.к}} + Q_{\text{зн}} = 4,36 \cdot e^{0,0235t} \cdot m_c + 0,73 \cdot e^{0,0049t} \cdot m_c + 0,056 \cdot e^{0,001t} \cdot m_c$$

$$Q = m_c (4,36 \cdot e^{0,0235t} + 0,73 \cdot e^{0,0049t} + 0,056 \cdot e^{0,001t}) \quad (4.72)$$

Учитывая промежутки времени (фазы приготовления силоса), выразим функцию

$$Q(t) = \begin{cases} (4,36 \cdot e^{0,0235t}) \cdot m_c, \text{ при } 0 \leq \tau \leq 96 \\ (41,6 + 0,73 \cdot e^{0,0049t}) \cdot m_c, \text{ при } 96 \leq \tau \leq 336 \\ (44,4 + 0,056 \cdot e^{0,001t}) \cdot m_c, \text{ при } 336 \leq \tau \leq 1440 \end{cases} \quad (4.73)$$

Полученные зависимости позволяют определить выделяемую теплоту в различные периоды ухудшения качества силоса (по фазам) и в целом за весь период микробиологических процессов.

5 Параметры тепловыделения при использовании теплоутилизатора

5.1 Необходимое количества теплоты для обогрева помещений

Составим уравнение теплового баланса для животноводческого помещения с использованием теплоутилизатора

$$\sum Q_{\text{пост}} = \sum Q_{\text{пот}} \quad (5.1)$$

где $\sum Q_{\text{пост}}$ – суммарные теплоступления, Вт;

$\sum Q_{\text{пот}}$ – суммарные теплопотери, Вт,

$$\sum Q_{\text{пост}} = Q'_{\text{постобщ}} + Q_{\text{ту}} \quad (5.2)$$

Теплопоступления в животноводческих помещениях складываются из теплопоступлений от животных и продуктов их жизнедеятельности, от осветительных приборов, электрооборудования, обслуживающего персонала и теплопоступления от солнечной радиации

$$Q'_{пособщит} = Q_{ж.общ} + Q_p + Q_{осв} + Q_{эл} \quad (5.3)$$

где $Q_{ж.общ}$ - общее количество теплоты, выделяемой животными, Вт;

Q_p - теплопоступление от солнечной радиации, Вт;

$Q_{осв}$ - теплопоступление от осветительных приборов, Вт;

$Q_{эл}$ - теплопоступление от электроприборов, Вт.

Теплопоступления в животноводческие помещения от теплоутилизатора определяют по формуле

$$Q_{ту} = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (5.4)$$

где λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·°С;

S – площадь сечения трубы теплоутилизатора, м²;

$\Delta T/\Delta x$ – градиент температуры, °С/м²

В то же время теплота, переносимая в объеме силоса (от п ям или траншей), может быть определена из выражения

$$Q_{сил.я.м} = n \lambda_1 S \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (5.5)$$

Суммарные теплотери помещения определяются из выражения

$$\sum Q_{пот} = Q_{огр} + Q_{исп} + Q_{инф} \quad (5.6)$$

где $Q_{огр}$ — потери теплоты через ограждающие конструкции, Вт;

$Q_{исп}$ — теплотери, идущие на испарение влаги со смоченной и открытой водной поверхности, Вт;

$Q_{инф}$ — теплотери на инфильтрацию, Вт.

При определении теплопотерь через строительные ограждения следует учитывать основные и добавочные потери теплоты. Основные потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции рассчитывают по формуле

$$Q_{огр} = F \frac{1}{R_o} k_n (t_{в} - t_{н}) \quad (5.7)$$

где F - поверхность ограждений, м²;

R_o - общее сопротивление теплопередаче ограждений, м²ч°С/кДж;

k_n - поправочный коэффициент к расчетной разнице температур;

$t_{в}$ - расчетная температура внутреннего воздуха в помещении, °С (принимается в соответствии с нормами технологического проектирования животноводческих ферм);

$t_{н}$ - расчетная температура наружного воздуха, °С (принимается в соответствии со СНиП).

Количество теплоты, расходуемой на испарение влаги с открытой водной и смоченной поверхности, определяют по формуле

$$Q_{исп} = q_{в} W_{нов} \quad (5.8)$$

где $q_{в}$ - количество теплоты, необходимой на испарение 1 г воды,

$$q_{в} = 2.45 \text{ кВт};$$

$W_{нов}$ – влагопоступление со всей открытой и смоченной поверхности, г/ч,

$$W_{нов} = W_{отк} F_{отк} + W_{см} F_{см} \quad (5.9)$$

где $W_{отк}$, $W_{см}$ - количество влаги, испаряющейся с 1 м² открытой водной или смоченной поверхности, г/ч;

$F_{отк}$, $F_{см}$ - площадь соответственно водной или смоченной поверхностей, м².

В животноводческих помещениях смоченной поверхностью считают поверхность глубокой подстилки, вертикальные стены навозного лотка до водного зеркала, площадь помещения на расстоянии 50 см от навозного лотка, а при гидросмыве - всю площадь пола, на которой его применяют, а также поверхность влажного корма. Водное зеркало навозного лотка и поилок является открытой водной поверхностью. При использовании решетчатого пола вся площадь его считается смоченной поверхностью.

Теплопотери на инфильтрацию находятся из выражения

$$Q_{\text{сió}} = 0,33 \cdot k \cdot V \cdot \Delta T \quad (5.10)$$

где k - требуемая кратность воздухообмена (k принимается от 2 до 4);

V - объем помещения, м³;

ΔT - разность температуры в помещении и расчетной температуры наружного воздуха, °С.

5.2 Потери теплоты при её транспортировке в теплоутилизаторе

При эксплуатации теплопроводов могут возникать и возникают ситуации, когда отдельные участки трубопроводов лишены тепловой изоляции.

Вытяжной трубопровод теплоутилизатора представляет собой нагретую трубу, обдуваемую ветром или находящуюся в спокойном воздухе. Поэтому теплоотдачу такого трубопровода можно определять по известным зависимостям с использованием коэффициента теплопередачи через стенку трубы

$$Q = \frac{F_{\Pi}(T_{\Pi} - T_{B})}{R} \quad (5.11)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_H} + \frac{\delta_M}{\lambda_M} + \frac{1}{\alpha_w}} \quad (5.12)$$

где Q – теплоотдача трубопровода, Вт;

α_H – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубопровода, Вт/м² °С;

F_H – площадь наружной поверхности трубопровода, м²;

T_H – температура наружной поверхности трубопровода, °С;

T_B – температура наружного воздуха, °С;

R – сопротивление теплопередачи через стенку рассматриваемого трубопровода, Вт/м² °С;

δ_M – толщина стенки трубы, м;

λ_M – теплопроводность материала стенки трубы, Вт/м² °С;

α_W – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности трубопровода, Вт/м² °С.

В качестве расчетных температур берутся средние температуры за рассматриваемый период. При этом, температуру поверхности трубопровода можно принимать равной температуре воздуха в трубопроводе, так как термическое сопротивление стенки трубы δ_M/λ_M и сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности $1/\alpha_W$ для чистой трубы во много раз меньше, чем сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности $1/\alpha_H$.

Площадь наружной поверхности трубопровода определяется его длиной и диаметром

$$F_H = \pi \cdot D_H \cdot L \quad (5.13)$$

где Q – теплоотдача трубопровода, Вт;

π – константа ($\pi = 3,141$);

D_H – наружный диаметр трубопровода, м;

L – длина трубопровода, м.

С учетом выше изложенного выражение (5.91) можно преобразовать к виду

$$Q = \alpha_H \cdot \pi \cdot D_H \cdot L \cdot (T_H - T_B) \quad (5.14)$$

Согласно теории, общий коэффициент теплоотдачи определяется как сумма коэффициентов конвективной и лучистой теплоотдачи

$$\alpha_n = \alpha_k + \alpha_l \quad (5.15)$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от скорости воздуха и направления потока по отношению к оси трубопровода, диаметра трубопровода, теплофизических характеристик воздуха. В общем случае выражение для определения коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности трубопровода при поперечном обдувании потоком воздуха будет

- при ламинарном режиме движения воздуха (критерий Рейнольдса Re меньше 1000)

$$\alpha_k = 0,43 \cdot \beta_\varphi \cdot Re^{0,5} \cdot \frac{\lambda_{возд}}{D_H} \quad (5.16)$$

- при переходном и турбулентном режиме движения воздуха (критерий Рейнольдса Re равен или больше 1000)

$$\alpha_k = 0,43 \cdot \beta_\varphi \cdot Re^{0,5} \cdot \frac{\lambda_\epsilon}{D_H} \quad (5.17)$$

где Re - критерий Рейнольдса, вычисляемый по наружному диаметру трубопровода и скорости движения воздуха, определяемой с учетом высоты расположения трубопровода над землей и характера рельефа местности;
 $\lambda_{возд}$ - коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м² °С;
 β_φ - поправочный коэффициент, учитывающий направление воздушного потока по отношению к оси трубопровода.

Критерий Рейнольдса определим по формуле

$$Re = \frac{v \cdot \beta_u \cdot D_B}{\nu_\epsilon} \quad (5.18)$$

где v – расчетная скорость движения воздуха, м/с;

β_u – поправочный коэффициент, учитывающий высоту размещения трубопровода над землей и характер рельефа местности;

D_B – внутренний диаметр трубы, м;

ν_ϵ – коэффициент кинематической вязкости воздуха, определяемый при температуре наружного воздуха, м²/с.

Среднее значение расчетной скорости ветра v можно определять по фактическим данным скоростей ветра за рассматриваемый период на основании метеорологических наблюдений или по среднемесячным значениям.

Значение поправочного коэффициента β_u может быть определено на основании данных по поправкам на ветровое давление, приводимым в .

Соотношение между поправочным коэффициентом на скорость воздуха и поправкой на ветровое давление достаточно простое

$$\sqrt{\beta_u} = \beta_p \quad (5.19)$$

Данные по зависимости коэффициента кинематической вязкости ν_ϵ и коэффициента теплопроводности λ_ϵ от температуры для воздуха с интервалом в 10 градусов, а также зависимость поправочного коэффициента β_φ от угла обдувания трубопровода приведены в литературных.

Учитывая, что направление движения воздуха по отношению к ориентации трубопровода обычно неизвестно, поправочный коэффициент на угол обдувания β_φ следует принимать как среднее значение в диапазоне изменения угла направления потока от 90 градусов (перпендикулярно оси трубопровода) до 0 (параллельно оси трубопровода).

Коэффициент лучистой теплоотдачи зависит от температуры воздуха T и температуры поверхности T_{II} трубопровода, а так же от степени черноты поверхности трубопровода ϵ_{II} .

$$\alpha_r = \epsilon_{II} \cdot C_o \left(\left(\frac{T_{II} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T + 273}{100} \right)^4 \right) / (T_{II} - T) \quad (5.20)$$

где C_o – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Теоретические расчетные зависимости, представленные выше, справедливы для случая, когда входящие в них расчетные коэффициенты теплоотдачи и температура теплоносителя являются постоянными по длине трубопровода. Это достаточно близко соответствует ситуации, когда снижение температуры теплоносителя на участке за счет тепловых потерь невелико и средняя температура теплоносителя мало отличается от начальной. Вследствие постоянства температуры поверхности трубопровода постоянными остаются и значения коэффициентов конвективной и лучистой теплоотдачи с поверхности трубы.

В общем случае падение температуры теплоносителя прямо пропорционально длине трубопровода L , его диаметру D_B , коэффициенту теплопотерь K , зависящего от материала трубопровода, и обратно пропорционально расходу теплоносителя G_w

$$\Delta T_w \approx \frac{(T_w - T_g) D_B \cdot L \cdot K}{G_w} \quad (5.21)$$

Для получения более достоверного результата расчета тепловых потерь в такой ситуации следует расчет вести по уточненным зависимостям, учитывающим экспоненциальный характер снижения теплоотдачи. Для их применения в качестве исходных данных следует обязательно использовать еще один параметр: расход теплоносителя на участке G_w и коэффициент теплопотерь, зависящий от материала трубопровода K .

Расчетные зависимости могут быть получены из дифференциального уравнения, описывающего процесс теплоотдачи с поверхности трубопровода элементарной длины, и дифференциального уравнения, описывающего расход теплоты вследствие остывания воздуха

$$\begin{cases} dQ = \alpha_n (T_w - T_g) \cdot \pi \cdot D_B \cdot dL \\ dQ = c \cdot G_w \cdot d \cdot T_w \cdot K \end{cases} \quad (5.22)$$

где dQ - теплопотери участка трубопровода элементарной длины, Вт;

dL - элементарная, бесконечно малая длина трубопровода;

dT_w - снижение температуры теплоносителя на участке элементарной длины;

c - теплоемкость воздуха, Вт/м² °С;

K - коэффициент теплопотерь трубопровода;

G_w - расход теплоносителя кг/ч.

При выводе решения предполагается, что коэффициент теплообмена на поверхности трубопровода остается постоянным. Учитывая, что доля лучистого теплообмена в общем коэффициенте составляет около 15-20%, такое допущение вполне правомерно и не приводит к существенным погрешностям. В то же время такой подход позволяет значительно упростить конечные выражения.

Решение системы уравнений приводит к следующей зависимости падения температуры теплоносителя от длины трубопровода L

$$\Delta T_w = (T_w - T_g)(1 - e - AL) \quad (5.23)$$

где e - основание натуральных логарифмов, $e = 2,71$;

A - комплекс из расчетных величин, 1/м

$$A = \frac{\alpha_H \cdot \pi \cdot D_H}{c_w \cdot G_w \cdot K} \quad (5.24)$$

Так как по трубопроводу идет транспортировка нагретого воздуха, то проблема его промерзания не рассматривалась.

5.3 Тепловыделение в процессе гниения растительного сырья в теплоутилизаторе

Этапы тепловыделений при гниении растительных материалов, заложенных в компост, изучались на примере силоса.

Нормальное состояние силоса описывается следующими начальными параметрами

$$F_0 = f_0(pH, \tau, t, \rho, H) \quad (5.25)$$

где F_0 – функция, зависящая от значений кислотности, времени, температуры, плотности, влажности;

pH – кислотность;

τ – время, ч;

t – температура, °С;

ρ – плотность, кг/м³;

H – относительная влажность, %.

Схема этапов тепловыделений в процессе созревания силосной массы представлена на рисунке 5.1.

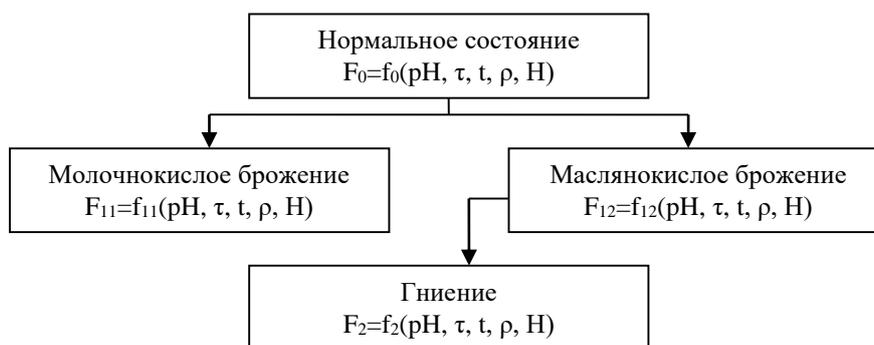


Рисунок 5.1 – Этапы тепловыделения

Рассматривалась закладка силоса при слабом уплотнении, когда активно идет процесс гниения. Основной параметр в первой фазе – время τ от момента закладки до начала молочнокислого брожения. Продолжительность фазы молочнокислого брожения, или расчетное время, составляет 96 часов или 4 дня.

Параметру плотности, не зависящему от времени, придавалось значение $\rho = 100 - 200$ кг/м³.

Продолжительность второй фазы – молочно-кислого брожения, или расчетное время, составляет от двух недель, до трех месяцев. Принимаем за расчетное время 336 часов.

Расчет послыоного распределения теплоты проводился методом математической статистики

Процесс молочнокислого и маслянокислого брожения изучался случайной выборкой кислотности 20 слоев и построением вариационного ряда.

Выбирались максимальные и минимальные значения кислотности.

Интервал разбивался на 5 классов для малого объема выборки ($n = 20$).

С помощью ранжированного ряда определялись частота попадания варианта выборки в каждый интервал.

Уравнение регрессии (зависимость высоты слоя от кислотности) имеет вид

$$y = -286,66 \cdot x + 1784,16 \quad (5.26)$$

Для измерения скорости движения воздуха в вытяжной ветви теплоутилизатора использовали цифровой термоанемометр ТКА-ПКМ/50.

В процессе созревания силоса 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 % .

Динамика изменения кислотности, температуры и влажности в первой фазе приведена на рисунке 5.2. Продолжительность первой фазы принимается 4 дня или 96 часов.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 4.2, можно сделать вывод, что закладка силоса при недостаточном уплотнении характеризуется изменением кислотности от 5 до 5,5, повышением температуры до 64 °С 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 5.3.

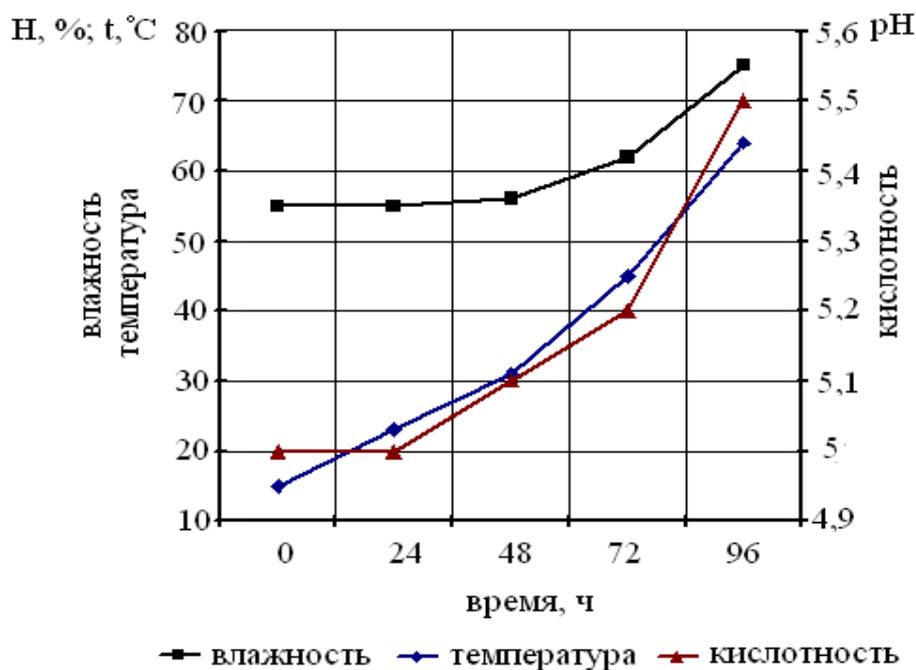


Рисунок 5.2 – Динамика изменения кислотности, температуры и влажности в первой фазе силосования

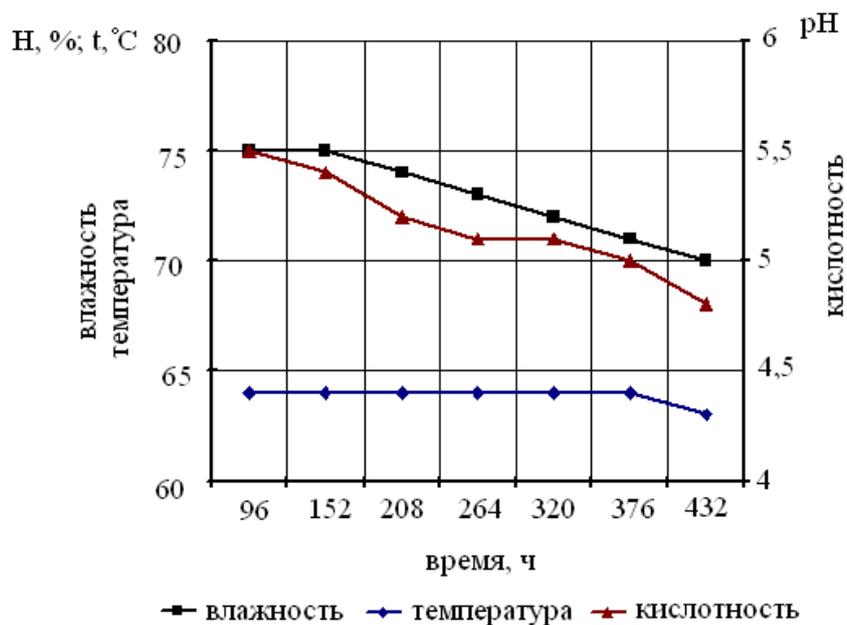


Рисунок 5.3 –Изменения кислотности, температуры и влажности от времени во второй фазе силосования

Анализируя полученные зависимости (рис. 5.3), можно заключить, что показатель рН изменяется от 5,5 до 4,8, температура изменяется от 64 до 61 °С, 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 $c=1,2693e^{0,141\tau}$, представленному на рисунке 5.4.

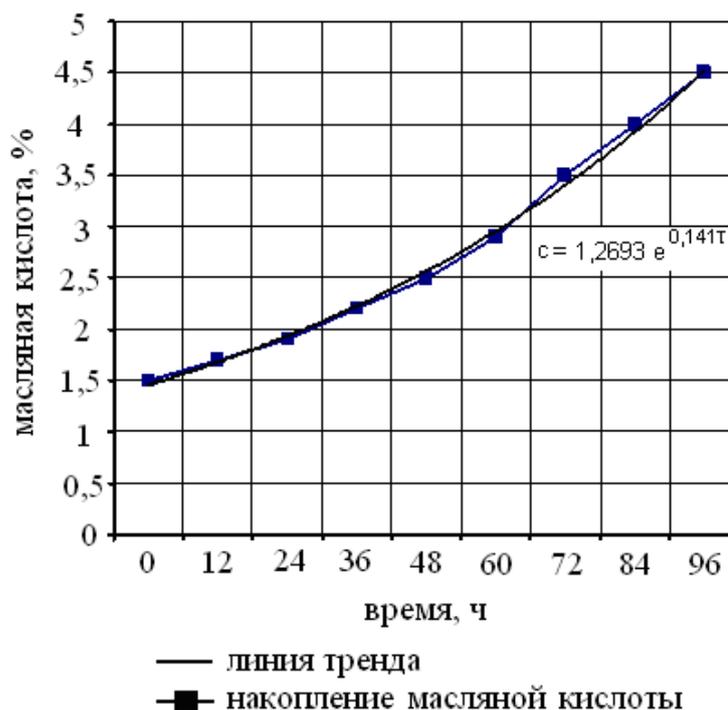


Рисунок 5.4 – Динамика процесса накопления масляной кислоты

Проанализировав, рисунок 5.4 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 5.5.

Из рисунка 5.5 видно, что кислотность с течением времени уменьшается, молочнокислые бактерии отмирают, увеличивается интенсивность процесса гниения.

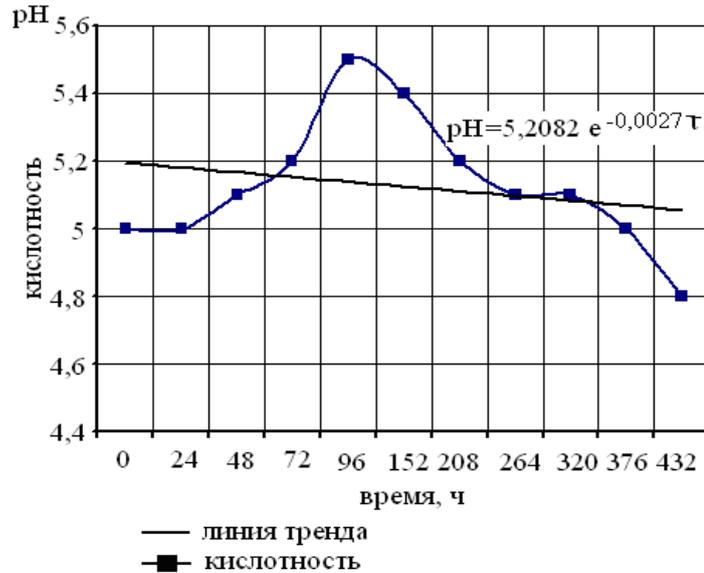


Рисунок 5.5 – Динамика изменения кислотности на этапе молочнокислого брожения

Таблица 5.1 - Случайная выборка кислотности 20 слоев

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
рН	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
рН	5,6	5,7	5,6	5,7	5,6	5,7	5,9	5,3	5,2	4,9

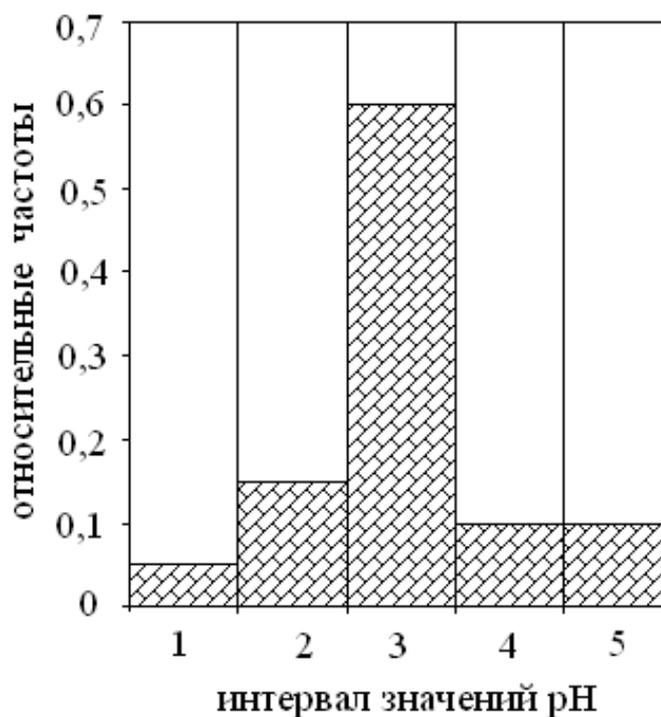
Далее строим вариационный ряд и гистограмму:

Из таблицы 5.1 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 5.6.



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

Рисунок 5.6 – 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.

По формулам математической статистики определяем основные выборочные характеристики (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – 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 (формула 3.5.6):

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

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

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

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.

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

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. 5.7).

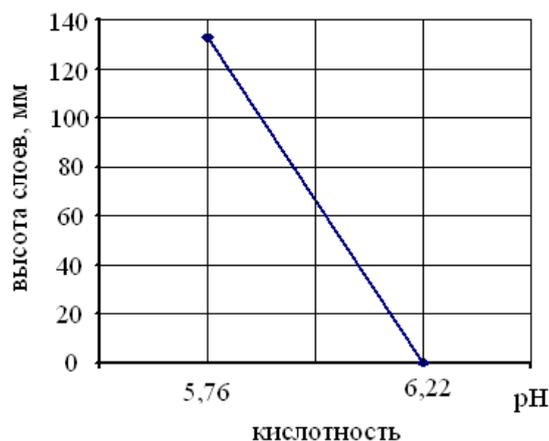


Рисунок 5.7 – График корреляционной зависимости

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 (5.18) 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

$$y_{zn} = y_1 - y_2 = 207,53 - 64,2 = 143,33 \text{ мм}$$

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

$$\varepsilon_V = \left(\frac{y_{zn}}{y_{общ}} \right)^3 = \left(\frac{143,33}{266} \right)^3 \cdot 100\% = 16\%$$

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

6 Определения физико-химических свойств компостируемого сырья

В процессе исследования теплоутилизатора температурно-компенсаторного типа использовали растительное сырьё для компостирования: скошенную траву, прошлогодний не пригодный к скармливанию и свежеприготовленный силос, опилки, ботву.

Растительное сырьё, уложенное в бурт или траншею (заглубленную, полузаглубленную) при хранении начинает разлагаться под влиянием деятельности микроорганизмов.

Масса самосогревается под действием окислительных реакций, иными словами, в массе идет процесс гниения, сопровождающийся термогенезом. Гнилостные бактерии развиваются при определённом уровне кислотности (рН) и влажности сырья.

В ходе исследований нами использовались данные из работ а также уточнялись физико-химические свойства растительных материалов по методике ВИСХОМ.

Влажность сырья определяли прямым способом – выделением влаги путем высушивания образцов в экспресс-влажномере ВЗМ-1.

Перед измерением влажности измельченные (10 – 20 мм) образцы растительного материала, высушивали в сушильной камере прибора и взвешивали на аналитических весах Scout SRA210. Относительная влажность определялась по формуле

$$W = \frac{(P_1 - P_2) \cdot 100}{P_1} \quad (6.1)$$

где W – относительная влажность корма, %;

P_1 и P_2 – масса материала до и после высушивания, г.

Среднюю длину частиц, которая характеризует степень измельчения растительного сырья, определяли среднеарифметической вариационного ряда по формуле

$$l_{\text{нд}} = \frac{\sum m_i \cdot l_{\text{нд}i}}{\sum m_i} \quad (6.2)$$

где l_{cp} – средняя длина частиц, мм;

m_i – масса частиц в каждом классе, г;

$l_{\text{cp}i}$ – линейный средний размер частиц в классе, мм.

Для оценки измельченного растительного материала по однородности состава рассчитывали среднеквадратическое отклонение σ от среднезаданного и коэффициент вариации ν .

$$\sigma = \sqrt{\frac{(l_{\text{нд}i} - l_{\text{зад}})^2 \cdot m_i}{\sum m_i}} \quad (6.3)$$

$$\nu = \frac{\sigma}{l_{\text{зад}}} 100 \quad (6.4)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение;

ν – коэффициент вариации;

$l_{\text{зад}}$ – размер частиц, мм.

Изменение температуры сырья в процессе компостирования контролировали электронным термометром УТ-301.

Для определения физико-химических свойств компостируемого сырья был заложен лабораторный опыт. В емкости литров поместили готовый силос. Толщина слоя составила 0,27 м. Емкости теплоизолировали, используя для этого различный укрывной материал и разместили газоотводные трубки с заглушкой.

К физическим свойствам растительных материалов относят: влажность, степень измельчения, объемную и насыпную плотность, степень разогрева в процессе хранения.

Насыпная плотность зависит от влажности, степени измельчения. Ее определяют, применяя мерные емкости 0,03... 0,05 м³. Порция сырья насыпается с высоты 500... 600 мм в емкость, лишнее сырье снимается линейкой. Затем емкость взвешивается с точностью до 10 г. Плотность рассчитывалась по формуле

$$\rho = \frac{M_{\text{общ}} - M_{\text{м.емк.}}}{V_{\text{м.емк.}}} 100 \quad (6.5)$$

где ρ - насыпная плотность, кг/м³;

$M_{\text{общ}}$ - масса мерной емкости с растительным материалом, кг;

$M_{\text{м.емк.}}$ - масса мерной емкости, кг;

$V_{\text{м.емк.}}$ - объем мерной емкости, м³.

Для уточнения влияния плотности укладки материала в бурт или траншею на процесс термогенеза нами был заложен второй лабораторный опыт.

В пять емкостей объемом 5 литров каждая заложили готовый силос различной массы. Число емкостей выбрали исходя из обзора литературы и проверки необходимой плотности заложения силоса, в нашем случае от 100 кг/м³ до 500 кг/м³. Исходя из результатов первого эксперимента, емкости утеплили и обернули черной пленкой.

Для контроля температуры в компостируемом сырье с целью предотвращения самовозгорания использовали термодатчики, с которых информация через цифровой многоканальный самописец “Flash-Recorder-2-16RTC-SD” выводится на монитор компьютера.

Термодатчики располагались на вертикальных перфорированных трубах, на расстоянии 0,5 м и 1 м от горизонтальной трубы.

Измерение концентрации газов в процессе гниения органики проводилось колориметрическим методом прибором Колион 1В-06 через газоотводную трубку и прибором насосом пробоотборником НП-3М, также были произведены замеры температуры, влажности и скорости движения воздуха цифровым термоанемометром ТКА-ПКМ/50.

Так как из литературных источников было выявлено, что одинаково эффективны с точки зрения термогенеза методы размещения растительного сырья в бурте или заглубленном (полузаглубленном) хранилище, эксперименты проводились только при закладке в бурт, как менее затратном способе.

Кислотность компостируемой массы определялась с помощью прибора рН – метр-милливольтметр рН-150 МА. Тепловой поток от компостируемой массы определялся прибором ТЕМП-3.32.

Прибором рН – метр возможно измерение температуры, в режиме автоматической термокомпенсации. При подключении датчика температуры прибор переходит в режим автоматической термокомпенсации. Проверка прибора в режиме измерения температуры производится путем сравнения показаний с показаниями контрольного термометра.

Рефрактометром ИРФ-454 определяли количество белка (протеина) в соке силосной массы с целью дальнейшего определения теплоты, выделяемой при гниении растительного сырья. Перед началом работы проводили юстировку прибора по дистиллированной воде.

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 результате проведенных замеров в течение 60 дней в исследуемых пробах температура заложенного сырья достигала максимальных значений, указанных в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – 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 6.2.

Таблица 6.2 – 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.

На рисунке 6.1 приведено изменение температуры силоса в зависимости от толщины слоя при плотности заложения 200 мг/м³.

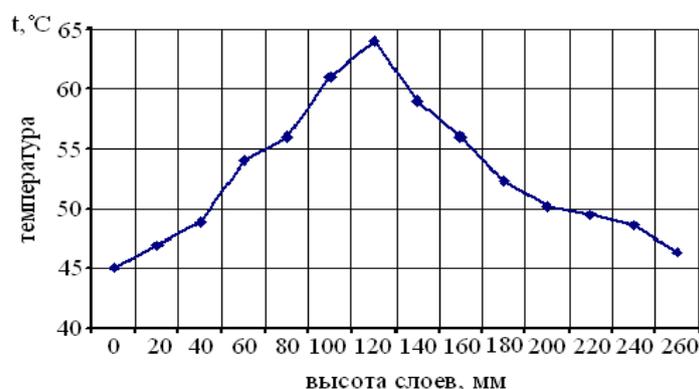


Рисунок 6.1 - Зависимость температуры в растительной массе от толщины экспериментального слоя

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

На рисунке 6.2 представлена зависимость изменения кислотности силоса в зависимости от толщины слоя при плотности заложения 200 мг/м³.

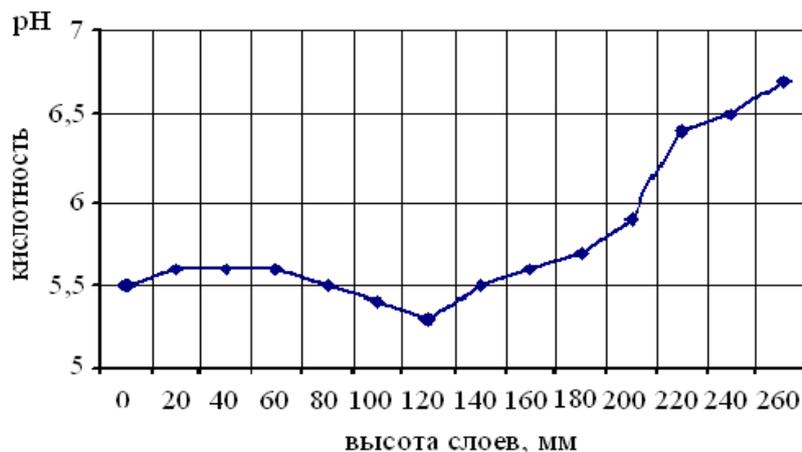


Рисунок 6.2 - Зависимость кислотности от толщины экспериментального слоя растительной массы

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 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. 6.3).

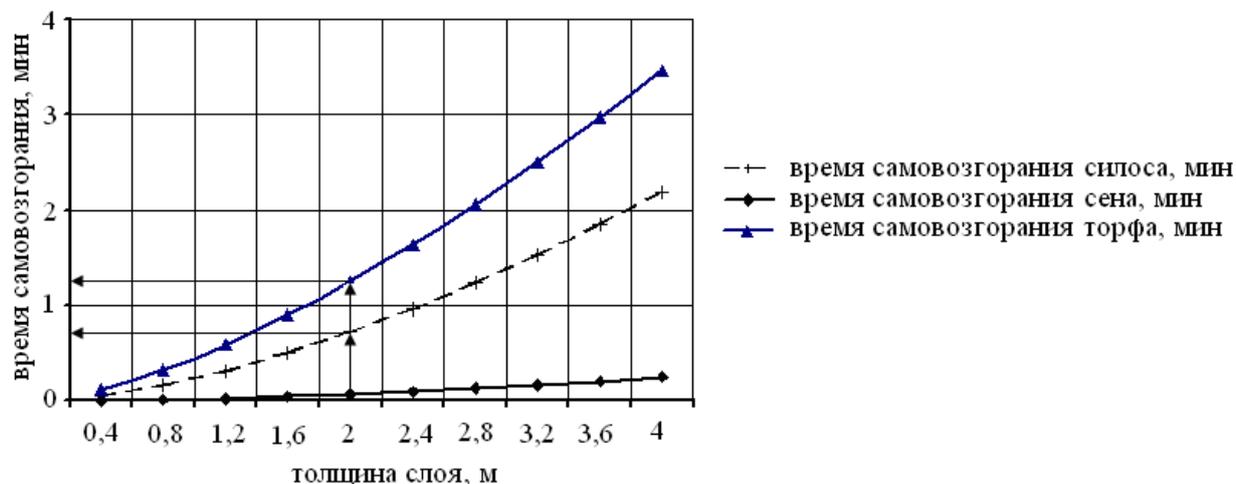


Рисунок 6.3 – Номограмма для определения времени самовозгорания растительного сырья

Анализ номограммы для определения времени самовозгорания от толщины слоя показал, что чем толще слой растительного сырья, тем самовозгорание происходит медленнее. Из номограммы (рис. 6.3) 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 4 м. Наименее подвержен 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 4 м.

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. Кн. 2. - М.: Химия, 1990. - 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 / М. В. Верещак, Е. Лакемайер // Аналит. докл. в рамках проекта «Германо-российский аграрно-политический диалог», 2007.
7. Вогман, Л. П. Математическая модель процесса самонагревания 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 / 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: сб. 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. Ешинимаев, Б. Ц. Термофильные и термотолерантные аэробные метанотрофы / Б. Ц. Ешинимаев // Микробиология. - 2009. - Т. 4. - 450 с.
14. Ильин, И. В. Энергосберегающее вентиляционно-отопительное оборудование для животноводческих ферм // 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.; заявл. 1994.09.09; опубл. 1998.07.27.
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 хоз-ве. - 2001. - № 3. – С. 25-27.
18. Конвенции и рекомендации МОТ. – Женева: Междунар. 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; опуб. 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. Садонов 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; опуб. 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: сб. науч. тр. – Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. - С. 150-155.

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. Рос. Федерация 2163586 / В. А. Шапиро, А. Г. Маленков; заявл. 2000.07.07; опубл. 2001.02.27.

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/>

Научное издание

Панова Татьяна Васильевна
Панов Максим Владимирович

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТАЮЩИХ
ПРИ ХРАНЕНИИ
И ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Монография

Редактор Павлютина И.П.

ISBN 978-5-88517-342-1



Подписано к печати 02.09.2020 г. Формат 60×80
Бумага писчая. Усл. п.л. 5,58. Тираж 550 экз. Изд. №6684.

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