

# Использование теплоты на термофильной фазе компостирования как продукт альтернативного источника энергии

*Т.В. Панова, к.т.н., М.В. Панов, к.т.н., ФГБОУ ВО Брянский ГАУ*

Компостирование – это контролируемый аэробный биологический процесс, в ходе которого происходит разложение растений и других органических материалов. Одним из вариантов укладки компоста является яма. При компостировании сырья по высокоуровневой технологии с регулярной аэрацией бурта температура нагрева может достигать 70 °С [1, 2].

Теоретические исследования процессов, происходящих в компостном бурте, проводятся давно [3], но вопросы, связанные с определением количества патогенных микроорганизмов, представляющих риск для работников, контактирующих с компостируемым материалом, недостаточно изучены.

Основными источниками образования отходов являются различные лесопромышленные комплексы и деревообрабатывающие предприятия. Эти отходы могут быть использованы в производстве древесной щепы и стружки, которая, в свою очередь, является ценным сырьём для производства различных материалов и изделий. Древесно-растительные отходы образуются при санитарных рубках, в городском хозяйстве при проведении ежегодных сезонных работ по уходу за зелёными насаждениями (скошенная трава, опавшая листва, ветки от обрезки и древесина от валки деревьев) [4, 5].

Биологический способ утилизации древесных отходов представляется весьма рациональным и перспективным не только в решении проблемы оздоровления окружающей среды и сохранения природных органических ресурсов, но и вследствие относительно невысоких затрат на основные и оборотные средства. Кроме того, он позволяет в кратчайшие сроки приступить к реализации планов с одновременным обеспечением высокого уровня рентабельности [6].

**Материал и методы исследования.** Нами рассматривается процесс компостирования древесно-растительных остатков. При компостировании принято выделять следующие фазы: лаг-фазу (распада), мезофильную (реконструкции), термофильную (синтеза), фазу созревания и гумификации [3]. Температура является катализатором развития вредных для человека микроорганизмов. В связи с этим можно утверждать, что термофильная фаза является ведущей в компостировании и обеспечивает активизацию жизнедеятельности микроорганизмов, многие из которых опасны для человека [7–9].

Существует необходимость рассмотреть функциональную зависимость температуры от времени на всём протяжении термофильной фазы.

**Результаты исследования.** Из работ Н.Ф. Гуляева известно, что тепловой поток разложения органического вещества является функцией времени [10], имеющий вид:

$$Q_{\text{раз}} = m\varepsilon, \quad (1)$$

где  $m$  – масса компостируемого слоя в термофильной фазе, кг;

$$m = m_0(1 - \exp(-r\tau)), \quad (2)$$

где  $m_0$  – масса закладываемого материала, кг;  
 $r$  – постоянная разложения органического вещества, 1/с;

$\tau$  – время протекания термофильной фазы, с;

$\varepsilon$  – энергия, выделяющаяся при разложении органического вещества,  $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \%}$ ;

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot u, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_0$  – энергия, выделяющаяся при разложении 1 % органического вещества на 1 кг компостной массы;  $\varepsilon_0 = 42 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \%}$  [6];

$u$  – скорость разложения органических веществ, выраженная в процентах углерода, %/с.

После преобразования формула (1) принимает вид:

$$Q_{\text{раз}} = m_0(1 - \exp(-r\tau))\varepsilon_0 u. \quad (4)$$

Известно, что только определенный процент теплового потока  $\beta$ , образующегося при разложении, идет на нагрев закладываемой компостной массы, и этот процент, очевидно, является самым высоким в течение термофильной фазы [4].

Тогда при термофильной фазе компостирования теплота (Вт), идущая на нагрев компостируемой массы, определяется по формуле:

$$Q = \beta \cdot m_0(1 - \exp(-r\tau))\varepsilon_0 u, \quad (5)$$

где  $\beta$  – процент теплоты, идущий на нагрев компостируемой массы.

С другой стороны:

$$Q = c_m \cdot m \frac{dt}{d\tau}, \quad (6)$$

где  $c_m$  – удельная теплоёмкость компостируемой массы, в зависимости от её состава;  $\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$ .

Согласно уравнению теплового баланса можно записать:

$$\beta \cdot m_0(1 - \exp(-r\tau))\varepsilon_0 u = c_m m_0 \frac{dt}{d\tau}. \quad (7)$$

Введём обозначение:  $A = \frac{\beta \varepsilon_0 u}{c_m}$ . Тогда, решая дифференциальное уравнение, получаем распределение температуры в компосте:

$$t_k = A \cdot \left[ \tau + \frac{1}{r} \exp(-r\tau) \right] + C_0, \quad (8)$$

где  $C_0$  – постоянная величина дифференциального уравнения, °C.

Принимаем краевые условия термофильной фазы  $t = 40$  °C и  $\tau = 0$  для нахождения постоянного коэффициента:

$$C_0 = 40 - \frac{A}{r}. \quad (9)$$

Конечное распределение температуры в компосте, основанное на теории подобия, для определения количества микроорганизмов в конце термофильной фазы представим в виде критериального уравнения:

$$t_k = A \left( \tau + \frac{1}{r} \exp(-r\tau) - \frac{1}{r} \right) + 40. \quad (10)$$

На основании литературных данных и анализа полученных формул в период термофильной фазы компостирования построен график распределения температуры на термофильной фазе (рис. 1).

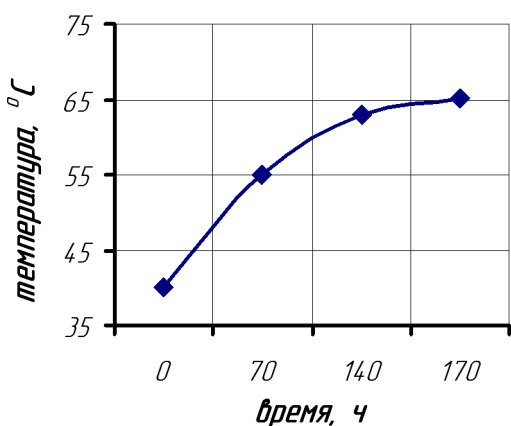


Рис. 1 – Зависимость распределения температуры от времени

Для того чтобы получать тепло, выделяемое при разложении органики, и использовать его для обогрева помещений, нами был разработан приточно-вытяжной теплоутилизатор (рис. 2), представляющий собой систему трубопроводов, заглублённых в растительное сырьё, которое может находиться в буре или в контейнере (рис. 3), помещённом в облицованный приямок [10, 11].

Контейнер работает следующим образом. При закрытии нижних створок ёмкость заполняется растительным материалом, предназначенным для компостирования. Для регулярной аэрации или увлажнения к выходным отверстиям перфорированных аэрационных или увлажнительных трубок подсоединены трубки водовода и воздуховода. После подсоединения водяных или воздушно-водяных труб к выходам перфорированных трубок контейнера начинается подача воздуха и (или) воды в компостируемую массу с заданной длительностью и частотой циклов. После исте-

чения срока компостирования выгрузка готового компоста осуществляется через открывающиеся нижние заслонки самотеком [12].

Технология получения тепла с помощью теплообменника реализуется следующим образом. В производственных условиях, в непосредственной близости от животноводческих помещений, устраивают выровненную яму или площадку для компостного воротника. Сбор кормовых остатков и некачественного силоса с территории ферм и комплексов осуществляется с помощью средств механизации (бульдозер или грейфер). Растительное сырьё помещают в контейнер или в штабель на 1/3 высоты и вводят вертикальные трубы для аэрации системы теплоснабжения теплообменника, после чего завершают органику. Вся конструкция покрыта листом поликарбоната (или полиэтиленовой пленкой) и изолирована. Подводящий патрубок теплообменника выводится из-под укрывного материала для забора наружного воздуха с помощью насоса (вентилятора) и подачи его по аэрационным трубам к растительному материалу. Вытяжная ветвь выводится наружу и закрепляется в оконном проёме отапливаемого

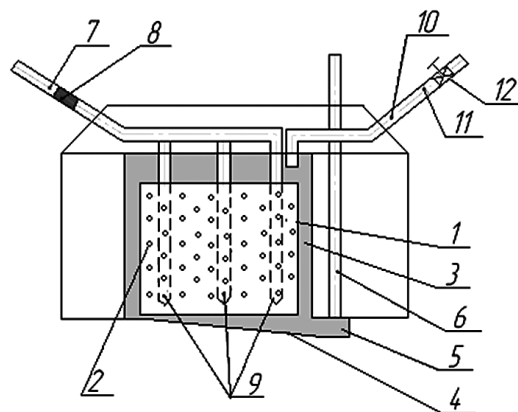


Рис. 2 – Теплоутилизатор:

- 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

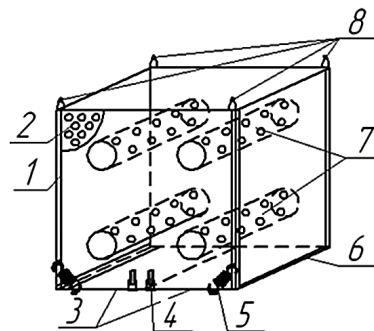


Рис. 3 – Контейнер:

- 1 – рама, 2 – перфорированный лист, 3 – створка дна, 4 – замок-защёлка, 5 – пружина, 6 – петля, 7 – аэратор-увлажнитель, 8 – проушина

помещения. В процессе хранения растительное сырьё самонагревается под воздействием микробиологических процессов. Через определённое время, используя встроенный насос системы выгрузки, воздух подаётся по перфорированным трубам на дно контейнера или компостной кучи. Тёплый воздух выдавливается из растительного материала и поступает в свободное пространство под укрывным материалом, откуда периодически удаляется через систему удаления воздуха со встроенным фильтром и направляется в отапливаемое помещение. После удаления тёплого воздуха из растительного материала клапан системы выпуска воздуха закрывается. Процесс повторяется по мере необходимости. Таким образом, утилизируется тепло, выделяемое при хранении и разложении растительных материалов повышенной влажности.

**Выводы.** Выявлено, что число патогенных микроорганизмов зависит от следующих факторов: температуры компостной массы, температуры воздуха, водородного показателя, влажности, числа патогенов на начало термофильной фазы, числа патогенов в конце термофильной фазы, подтверждённое критериальным уравнением. Для аккумуляции и реализации полученной теплоты и изоляции человека от вредных факторов, образующихся в процессе компостирования, предлагаются использование технических средств, в частности, контейнера и теплоутилизатора.

## Литературы

1. Шаланда А.В. Искусство и наука компостирования // Коммерческая биотехнология. М.: Академия биотехнологии, 2009.
2. Рыченкова Ю.А. Способы и средства для аэрации компоста // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 1. С. 46–49.
3. Лумисте Е.Г., Панова Т.В., Панов М.В. Установка для приготовления компоста // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 5. С. 43–49.
4. Гаврилова М. Рациональное использование отходов деревообработки: у всех на словах, но только не на деле [Электронный ресурс] // Лесной комплекс России. 2013. № 3. URL: [https://buk.irk.ru/library/sbornik\\_14/sokolovskaya.pdf](https://buk.irk.ru/library/sbornik_14/sokolovskaya.pdf).
5. Евстигнеев В.Д. О перспективах применения отходов лесопиления в качестве фильтрующего материала локальных очистных сооружений // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 9–3. С. 52–56.
6. Константинов К.Н. Компосты из древесных отходов [Электронный ресурс] // Интернет-издание «Газета садовод». URL: <https://gazetasadovod.ru/udobr/5769-komposty-iz-drevesnyh-othodov.html>.
7. Панов М.В. Разработка и обоснование параметров установки для приготовления компоста с утилизацией избыточной теплоты: дис. ... канд. техн. наук. М., 2011. 230 с.
8. Пат. на полезную модель №111966. Контейнер с ворошителем для приготовления компоста/ Лумисте Елена Геннадьевна (RU), Панова Татьяна Васильевна (RU), Панов Максим Владимирович (RU), Шмигирилов Сергей Николаевич (RU). Опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1.
9. Постановка и решение задачи дискретного управления на термофильной стадии процесса компостирования / Д.Л. Пиотровский, Л.А. Посмитная, К.В. Дружинина [и др.]. Краснодар, 2017. 883–893 с.
10. Гуляев Н.Ф. Расчёты аэрационного, влажностного и теплового режимов при ускоренном механизированном обезвреживании во вращающихся ёмкостях // Санитарная очистка городов. М.: ОНТИ АКХ, 1964. Вып. 25. С. 34.
11. Нино Т.П., Лумисте Е.Г., Панова Т.В. Приточно-вытяжной утилизатор тепла [Использование тепла при компостировании растительных отходов для отопления животноводческих помещений] // Сельский механизатор. 2011. № 6. С. 28–29.
12. Пат. на полезную модель RUS 119205. Контейнер с аэратором-увлажнителем для приготовления компоста / Т.В. Панова, Е.Г. Лумисте, М.В. Панов. Опубл. 20.08.2012. Бюл. № 23.