

– в предлагаемом устройстве отсутствует насос для перекачки горячей жидкости, функция которого может быть заменена разностью частот (напряжения) на одном из статоров или регулированием (отключением) тока в токопроводящих решетках.

#### Список использованных источников

1. Потапов Ю. С. Новые источники энергии на основе вихревых теплогенераторов // Энергетика и промышленность России. 2004. № 7 (47). С. 28–29.
2. Фурмаков Е. Ф. Могут ли гидродинамические теплогенераторы работать эффективно? [Электронный ресурс]. URL: <http://shaping.ru/download/pdf/file/furmakov.pdf> (дата обращения 24.11.2017)
3. Пат. РФ 2045715, МПК F25B29/00. Теплогенератор и устройство для нагрева жидкости. Потапов Ю. С.
4. Пат. СССР 1560295, МПК B01F13/08. Смеситель. Бондаренко Н. К. и др.
5. Пат. СССР 892148, МПК F25B29/00. Тепловой насос. Андреев В. И.
6. Пат. РФ на полезную модель 72308, МПК F24H3/02. Электрогидроударный теплогенератор. Дудышев В. Д.
7. Пат. РФ 2134381, МПК F24D2/02. Теплогенератор гидравлический. Андреев О. Ю.
8. Пат. США US 5284204 A, 08.02.94.
9. Пат. Германии DE2461317, B2. 08.07.76.
10. Пат. США US 4590918 A. 27.05.86.
11. Европейский пат. EP0093100 A2, 02.11.83.
12. Пат. Франции FR2489939 A1, 12.03.82.

УДК 631.3(075.3)

## **РЕАКТОР ДЛЯ АЭРОБНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ БИОМАССЫ**

## **REACTOR FOR THE AEROBIC FERMENTATION OF BIOMASS**

Дерябина Е. М., Попов А. И.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
sveropov@rambler.ru

Deryabina E. M., Popov A. I.

Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** Рассматриваются проблемы полезного использования теплоты, получаемой с процесса сбраживания биомассы. Авторами статьи предлагается использовать реактор для аэробной ферментации биомассы.

**Abstract:** Considers the problem of useful heat obtained from the process of fermentation of biomass. The authors proposed to use the reactor for the aerobic fermentation of biomass.

**Ключевые слова:** биологический процесс, аэробный способ, биосырье, реактор, ферментация.

**Key words:** biological process, aerobic method, biological raw materials, reactor, fermentation.

По данным Всероссийского научно-исследовательского, конструкторского и проектно-технологического института органических удобрений в России функционирует более 1600 крупных животноводческих предприятий, свинокомплексов и птицефабрик. В общей сложности, без учета животных частных подворий, каждый день производится более 450 тыс. тонн навоза, помета и стоков, из которых большая часть никак не используется.

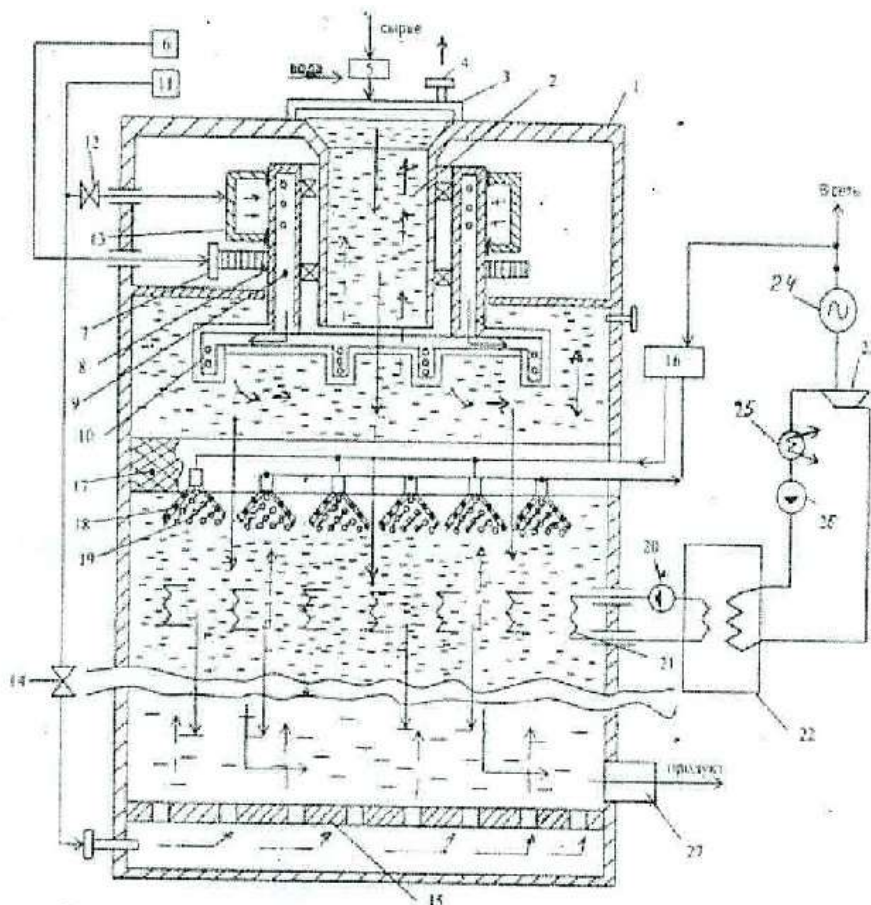
По данным этого института уже сегодня более 2 млн га земли занято под хранение навоза и занимают площадь равную почти половине территории Московской области. Этот ресурс представляет реальную экологическую угрозу и, самое существенное, - не используется для улучшения плодородия почв, - для получения высоких урожаев.

Анаэробные технологии весьма затратны и не находят большого распространения в средних и северных широтах. Аэробные способы ферментации биосырья имеют в несколько раз меньшие сроки сбраживания, не требуют тепловой энергии на поддержание процесса, а в ряде случаев теплота может полезно использоваться.

В отечественной и зарубежной литературе за последние годы сравнительно мало публикаций по данной теме, поэтому на кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ

была поставлена задача провести информационно-патентное исследование с анализом новых технических решений в стране и за рубежом по теме аэробных технологий ферментации.

Результатом проведенной работы явилось получение трех патентов РФ на изобретения, заявитель – УрФУ. Описание одного из патентов приведено ниже.



Реактор для аэробной твердофазной ферментации биомассы

1 – корпус, 2 – труба, 3 – крышка, 5 – пресс-экструдер, 6 – реверсивный электропривод, 7 – редуктор, 8 – венцовая шестерня, 9 – кольцевая пустотелая мешалка, 10 – гребенка мешалки, 11 – компрессор, 12 – вентиль, 13 – муфта, 14 – вентиль, 15 – поддон

Реактор для аэробной твердофазной ферментации биомассы работает следующим образом.

Сырьё с регулируемой влажностью подается в корпус 1 через пресс-экструдер 5, крышку 3 и трубу 2 загрузочного устройства. В процессе постоянной работы весь внутренний объем корпуса заполнен сырьём полностью, а вновь подаваемая еще холодная

порция биомассы остается в верхней части широкой трубы с диаметром 0,2...0,4 от размеров цилиндрического корпуса.

Реверсивный электропривод 6 посредством редуктора 7, закрепленного на корпусе, и венцовой шестерни 8, принадлежащей кольцевой пустотелой мешалке 9, осуществляется ее вращение. Одновременно с компрессора 11 поступает кислородосодержащий газ вентиль 12 и соединенную с корпусом муфту 13 скольжения в отверстия во внутрь кольцевой пустотелой трубы мешалки и выходит в биомассу через отверстия гребенки 10 мешалки. Через вентиль 14 газ может подаваться в поддон корпуса, откуда он поступает в биомассу через перфорированный поддон 15. Горячий отработанный газ совместно с двуокисью углерода поднимается вверх, подогревает сырье в трубе 2 и выходит через выпускной патрубок 4 (движение газов в корпусе показано пунктирными линиями, а продвижение сырья – сплошными линиями). Стержни («зубья») гребенки имеют отклонения от вертикальной оси – загнуты под небольшим углом (10...15°), что способствует при ее реверсивном круговом движении перемещению биомассы в зоне гребенки в вертикальной плоскости и полному заполнению полостей корпуса, служащих, в том числе, накопителями колоний микроорганизмов, для их дальнейшей инокуляции во вновь поступающую биомассу.

Известно, что микробиологический процесс компостирования описывается кривой роста культуры микробов, состоящий из четырех фаз: лаг-фаза, фаза экспоненциального роста стационарная фаза и фаза лизиса (отмирания) клеток [1].

Лаг-фаза – это длительный процесс саморазогрева биомассы. В предлагаемом устройстве этот период существенно сокращен за счет ее предварительного разогрева в трубе 2, нижний конец которой входит в начало зоны фазы экспоненциального роста бактерий. Вновь поступающая под действием силы тяжести новая порция сырья из трубы перемешивается гребенкой 10 мешалки и одновременно активно насыщается кислородосодержащим газом, поступающим из концов мешалки от компрессора 11 через открытый вентиль 12, муфту скольжения 13 и пустотелую трубу 9 мешалки.

Начавшаяся в зоне расположения гребенки 10 мешалки фаза экспоненциального роста микробов продолжается при движении биомассы вниз в зоны расположения в корпусе электродов 18 и теплообменников 21.

Металлические перфорированные электроды 18 закреплены на изолированной пластине 17 (или нескольких пластинах) уголками кверху навстречу движению сырья, что предохраняет от разрушения размещенные в них ленты «ершовой биоагрузки» [2] для накапливания и усиленного размножения в них колоний микроорганизмов.

Кроме того, на попарно соединенные электроды 18 от источника питания 16 подан электропотенциал для электроудерживания бактерий [3, 4], что способствует перемещению микроорганизмов в зону электродов и проникновению их через перфорацию боковых стенок электродов к ершовой биоагрузке. В эту зону поступает также кислородосодержащий газ через вентиль 14 и поддон 15 корпуса.

В процессе твердофазной ферментации происходит разогрев биомассы до 70 °С и более, что приводит к пережогу сырья. Для того, чтобы регулировать температуру в этой зоне корпуса, введен теплообменник 21, подключенный через первый циркуляционный насос 20 к теплоаккумулятору 22, отбор тепла из которого производится замкнутым контуром с низкопотенциальным рабочим телом.

Рабочее тело, испаряясь в теплообменнике теплоаккумулятора, поступает на паровую турбину 23, которая вращает электрогенератор 24. После турбины рабочее тело в конденсаторе 25 превращается в жидкость и вторым циркуляционным насосом 26 возвращается в теплообменник теплоаккумулятора 22. Избыток полученной электроэнергии с генератора 24 поступает в сеть потребителей.

Ниже зоны расположения теплообменников 22 корпуса начинается стационарная фаза жизни бактериальных клеток, переходящая в фазу лизиса бактерий.

Суммарная высота этих зон и степень готовности (полного превращения биосырья в компост) зависит от конструкции и технологии изготовления корпуса 1.

По предварительной договоренности с представителями ОАО «Авангард» для описанного «Реактора аэробной ферментации биомассы» предлагается использовать утепленные емкости из композиционных материалов диаметром до 4-х метров, длиной секции 6 и более метров [5].

При башенном расположении корпуса загрузка его биосырьем будет представлять определенную проблему, поэтому подобную конструкцию, если это представляется возможным, целесообразно располагать, например, в склоне холма или заглублять в землю. При достаточной высоте цилиндрического корпуса 1 полностью готовый продукт будет шнековым насосом выгружаться через разгрузочное устройство 27.

При другом варианте, когда высота корпуса недостаточна для полной ферментации биосырья, не полностью готовый продукт с температурой около 30 °С выгружается шнековым насосом с утепленным корпусом в утепленные емкости ОАО «Авангард», находящиеся в горизонтальном положении, для завершения стадии лизиса и полного превращения продукта в ценный компост.

Предлагаемый реактор позволяет ускорить процессы аэробной твердофазной ферментации, что дает возможность увеличить объемы перерабатываемого навоза, помета и другого органического сырья.

#### Список использованных источников

1. Артамонов В. С., Ивахнюк Г. К., Журкович В. В. [и др.] Ресурсосберегающие технологии переработки твердых бытовых отходов жилищно-коммунального хозяйства, обеспечивающие жизнедеятельности мегаполиса. СПб. : Гуманистика, 2008. 192 с.
2. Экопромэкология. Ершова биоагрузка [Электронный ресурс]. URL: [www.epcs.ru/03](http://www.epcs.ru/03) (дата обращения 24.11.2017).
3. Гвоздяк П. И., Чеховская Т. П. Электроудерживание микроорганизмов // Микробиология. 1976. Т. XLV. Вып. 5. С. 901–904.
4. Чеховская Т. П. Электроудерживание микроорганизмов : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.11. Киев, 1983. 179 с.
5. Крупногабаритные изделия из стеклопластика. Продукция из пластмассы и резины ОАО «Авангард» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.avangard-plastik.ru> (дата обращения 24.11.2017).