

## Список литературы

1. Денисова А. Е., Мармусевич А. В. Моделирование тепловых процессов в грунтовой тепловой трубе теплонасосной системы тепло- и хладоснабжения // Труды Одесского политехнического университета. 2006. № 1(25). С. 65–69.
2. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли : дис. ... д-ра тех. наук: 05.23.03 / Васильев Григорий Петрович. М., 2006. С. 423.
3. Сапрыкина Н. Ю. Моделирование температурного поля грунта при многолетней эксплуатации низкопотенциальных геотермальных скважин / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи развитию науки и образования (25-28 апреля 2017 г., Астрахань) : сборник трудов VI Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2017. С. 29-33.
4. Сапрыкина Н. Ю. Энергосберегающие технологии портовых сооружений на основе применения геотермальных тепловых насосов / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. Астрахань. №1. 2017. С. 116–124.
5. Сапрыкина Н. Ю. Математическое моделирование изменения температурного поля грунта в режиме работы ТНУ / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2015. № 1 (11). С. 69–73.

© Н. Ю. Сапрыкина

## Ссылка для цитирования:

Сапрыкина Н. Ю. Исследование изменения температурного поля грунта геотермальной скважины в условиях экспериментальных и натуральных наблюдений в астраханской области // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 1 (23). С. 22–27.

УДК 504.064.43

## ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ МОКРОГО ИСТИРАНИЯ

С. С. Евсева

Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

Интерес инженерного сообщества вновь нацеливается на технологические схемы переработки твердых бытовых отходов с отбором в процессе ценных компонентов. Производительность такого отбора снижают две самые крупные фракции ТБО: пищевые отходы и макулатура. Требуется технология, быстро и дешево отделяющая эти две фракции от ценного «остатка»; стерилизующая оставшиеся фракции для улучшения условий труда сортировщиков, отбирающих ценные компоненты; позволяющая получить из двух крупнейших фракций стерилизованный продукт.

ТБО и влажная макулатура наиболее легко разрушаются при механическом радиальном и тангенциальном воздействии в присутствии жидкости. Поскольку вода – жидкость несжимаемая, то разрушение пленчатых конструкций, наполненных водой, лучше всего производить деформацией сдвига, когда пленки (мембраны клеток) и волокна (целлюлозы в бумаге) разрушаются растяжением. Подаваемая извне влага при этом обеспечивает избыточную (предельную) влажность перерабатываемого материала.

Вниманию читателей предлагается технология мокрого истирания с применением в качестве дезинфицирующего раствора 0,3 % раствора сернистой кислоты с добавлением азотной и фосфорной кислот.

Предлагаемая разработка технологически проста: в ее основе лежит разновидность моечной машины, в которой основным рабочим органом являются щетки с электроприводом, расположенные над роликовым транспортером, по которому движутся ТБО, орошаемые раствором антисептика. Выбор антисептика обусловлен необходимостью переработки ТБО и использования продуктов их переработки в пределах городской черты без транспортных расходов по вывозу.

Предложенная технология также: практически безотходна (утилизируется и шрот, и жидкая фракция); увеличивает безопасность производственного процесса по сравнению как с процессом сжигания ТБО, так и процессом размещения его на полигонах; утилизирует большинство ценных компонентов ТБО размером более 10 мм; открывает новую нишу сбыта для гранулированной серы

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, пищевые отходы, макулатура, мокрое истирание, дезинфицирующий раствор, сернистая кислота, органоминеральное удобрение.

## SOLID WASTE PROCESSING METHOD FOR WET ABRASION

S. S. Evseva

Astrakhan State University of architecture and civil engineering

Interest of the engineering community once again targets the technological processing scheme of municipal solid waste with selection of valuable components during processing. The performance of such selection will reduce the two largest factions MSW: food waste and waste paper. Technology required: quickly and cheaply between these two factions of valuable "balance"; sterilization the remaining fraction, to improve working conditions sorters, taking valuable components; allows you to get sterilized product of the two largest factions.

MSW and wet waste paper the most easily destroyed when a mechanical radial and tangential effects in the presence of liquid. Since water liquid is not compressible, destruction of filmy structures filled with water it is best to shear deformation, when films (membranes) and fiber (cellulose paper) are destroyed stretching. Served outside moisture that provides redundant (marginal) humidity of the material.

Attention readers are invited to wet abrasion using technology as a disinfectant solution 0,3 % solution of sulphurous acid, with the addition of nitric and phosphoric acids.

The proposed technology is technologically simple: it is based on the kind of washing machine, in which the main body is electrically operated brushes located above the roller conveyor on which move MSW, irrigated solution antiseptics. Choice of antiseptics is due to the necessity of recycling solid waste and the use of their products within city limits without transportation costs for export.

The proposed technology is also: practically wasteless (recycled and meal and liquid fraction); increases the safety of the production process in comparison with both the process of municipal solid waste incineration, and a process of placing it at landfills; recycles the most valuable component of MSW are larger than 10 mm; opens a new niche marketing for granular sulfur.

**Keywords:** municipal solid waste, food waste, paper, wet abrasion, disinfectant, sulphurous acid, organic-mineral fertilizer.

В настоящее время в городах России, имеют место попытки внедрения схемы раздельного сбора ТБО (твердых бытовых отходов), но пока без должного эффекта [1]. Хотя полный потенциал участия населения в раздельном сборе оценивается в 75 %, но «освоение» этого потенциала возможно только через длительную информационную и воспитательную работу, начиная со школ и детских садов [2]. То есть, результатов экологического воспитания ждать еще долго, а в стране наблюдается большое количество свалок уже сейчас [3].

Поэтому интерес инженерного сообщества вновь нацеливается на технологические схемы переработки твердых бытовых отходов (далее ТБО) с отбором ценных компонентов в процессе переработки [4]. Производительность такого отбора снижают две самые крупные фракции ТБО: пищевые отходы (50 %) и макулатура (20 %) [5-6]. Требуется технология:

- быстро и дешево отделяющая эти две фракции от ценного «остатка»;
- стерилизующая оставшиеся фракции, для улучшения условий труда работы сортировщиков, отбирающих ценные компоненты;

• позволяющая получить из двух отобранных фракций стерилизованный товарный продукт.

Обе фракции объединяет одно свойство:

- в ТБО содержится до 80 % влаги, что снижает их механическую прочность [7];
- макулатура способна впитывать влагу в 5-6 раз больше собственного веса и во влажном состоянии также теряет механическую прочность.

Причем, как ТБО, так и влажная макулатура наиболее легко разрушаются при механическом радиальном и тангенциальном воздействии в присутствии жидкости. Поскольку вода – жидкость несжимаемая, то разрушение пленчатых конструкций, наполненных водой, лучше всего производить деформацией сдвига, когда пленки (мембраны клеток) и волокна (целлюлозы в бумаге) разрушаются растяжением (сравни метод мокрого истирания для контроля прочности пленочных лакокрасочных покрытий). Подаваемая извне влага при этом обеспечивает избыточную (предельную) влажность перерабатываемого материала.

Каким же должен быть рабочий орган машины истирания? Это щетка с электроприводом, вроде той, которую используют для очистки конвейерных лент (см. фото 1)

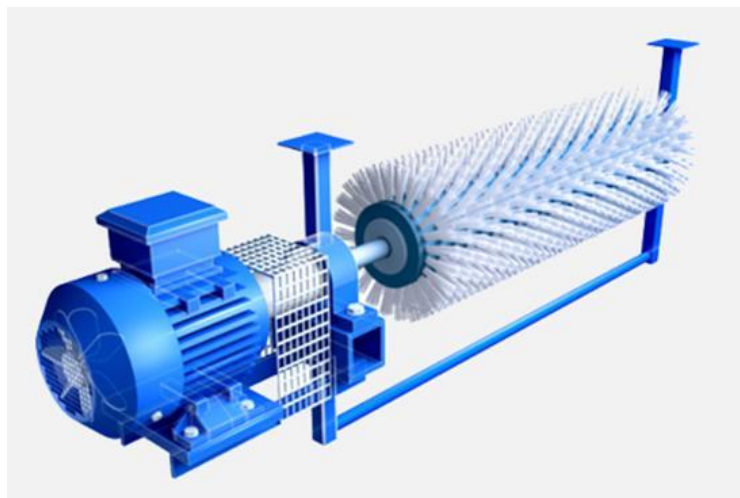


Фото 1. Щетка с электроприводом для чистки конвейера

Если разместить на свободной подвеске (фото 2) батарею таких щеток над роликовым транспортером, по которому движется ТБО, орошаемые сверху раствором антисептика:

- все фрагменты ТБО будут переворачиваться при движении, и обрабатываться со всех сторон вращающимися щетками;
- пищевые отходы и мокрая макулатура будут измельчаться мокрым истиранием;
- более твердые фрагменты – мыться в растворе антисептика;
- мелкие фрагменты (в основном измельченные пищевые отходы и макулатура) провали-

ваться между роликами роликового транспортера в приемную ванну. На выходе такой установки будут мытые и обработанные антисептиком ТБО с высоким содержанием ценных компонентов.

Данный способ имеет следующие преимущества:

- мягкие пищевые отходы и макулатура перерабатываются на пульпу, которая легко отделяется от основной массы (сортировка по размеру), легко удаляется гидравлическим способом (центробежные насосы) и легко обезвоживается (прессование на винтовых прессах);

- отобранные фракции (устойчивые к мокрому истиранию), при этом моются и дезинфицируются (применение в качестве дезинтегрирующей жидкости дезинфекционного раствора), что делает возможным дальнейшую ручную или пневмо-ручную сортировку;

- применение дезинфицирующих растворов (далее ДР) делает возможным переработку ТБО и использование их продуктов переработки (шрота из пульпы и ценных компонентов) в городской черте без весьма значительных транспортных расходов по вывозу ТБО за ее пределы.

Одним из направлений такого использования шрота (обезвоженной пульпы) является внесение

его в качестве органоминеральных удобрений (далее ОМУ) под зеленые насаждения города или в закрытом грунте. Для такого использования необходимо, чтобы дезинтегрирующий раствор (он же дезинфицирующий):

- не содержал вещества вредные для почвы и растений;
- был безвредным для человека (последующая ручная сортировка);
- был удобен при транспортировке;
- был недорогим.



Фото 2. Навесная щетка на свободной подвеске

В качестве раствора, удовлетворяющего таким требованиям, предлагается 0,3 % раствор сернистой кислоты, с добавкой азотной или (и) фосфорной.

Сернистая кислота является антисептиком с широким антимикробным спектром действия. В присутствии других кислот ее эффективность возрастает более чем в 1000 раз [8]. Добавление азотной и фосфорной кислот в пульпу не только усилит действие сернистой кислоты, но и сделает получаемое из ТБО ОМУ более комплексным. Для нейтрализации кислой среды шрот, получаемый из пульпы перед использованием, можно гасить мелом или известью.

Основной компонент ДР – сернистая кислота в применяемых дозах (0,3 % раствор моющего средства) безвреден для человека и до середины 60-х годов применялся в качестве пищевого консерванта. Азотная и фосфорная кислоты также добавляются в ДР в безвредных для человека дозах.

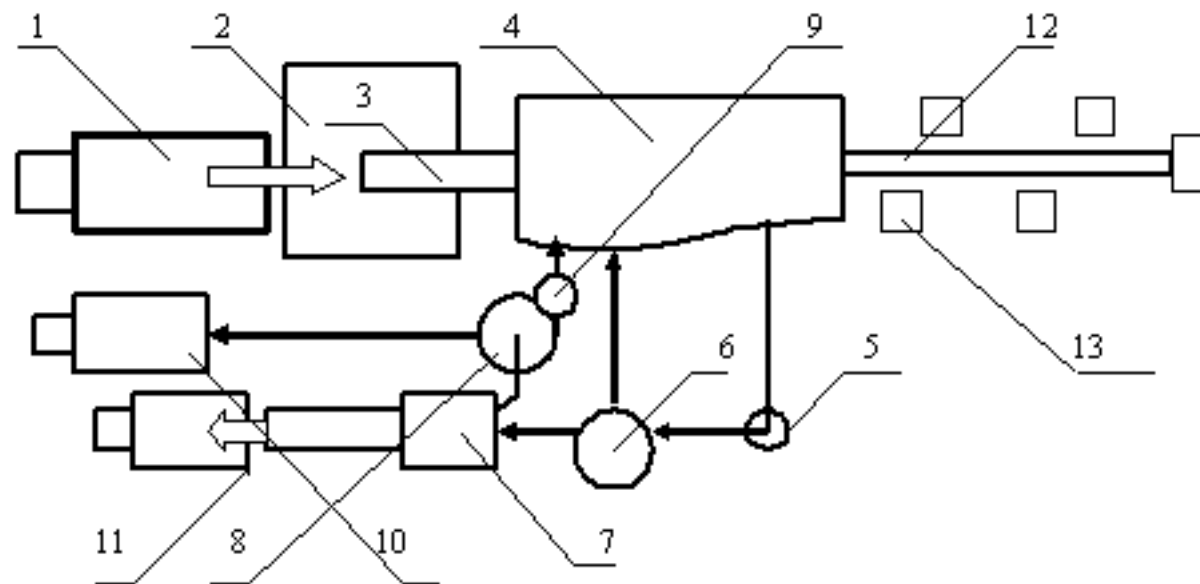
Сернистую кислоту лучше всего производить на месте переработки ТБО из элементарной серы (с помощью небольшого генератора SO<sub>2</sub>) [9]. Элементарная сера в настоящее время, в условиях ее

перепроизводства, весьма дешева (6 долларов за тонну) и весьма легко транспортируется (гранулы в мешках).

На рисунке показана схема переработки ТБО на ОМУ с использованием сернистого газа (вид сверху). ТБО доставляется на пункт переработки в мусоровозе (1) и сваливается в приемный бункер (2), из которого транспортером (3) подается на истирающую машину (4).

Истирающая машина представляет собой роликовый транспортер, с зазором между роликами в 10 мм. Над роликовым транспортером на плавающей подвеске устанавливаются параллельно роликам металлические щетки, вращающиеся в сторону противоположную вращению роликов транспортера. Каждая из щеток имеет свой, независимый электропривод. Это вместе со свободной подвеской дает возможность щеткам «переезжать» наиболее крупные твердые фракции, движущиеся по роликовому транспортеру.

На ТБО, движущиеся по транспортеру, сверху и боков подается ДР. Боковая подача ДР под давлением способствует дополнительному ворошению ТБО.



*Рис. 1. Схема переработки ТБО на ОМУ с отбором ценных компонентов*

Твердые крупные фракции щетками очищаются от мелких, переворачиваются и продвигаются дальше по транспортеру. При этом они могут в ДР.

Твердые мелкие фракции (до 10 мм) в зазоры между роликами транспортера падают вместе с ДР в сборную емкость ИМ.

Мягкие фракции (70 % ТБО) превращается щетками в пульпу, которая вместе с ДР попадает через щели роликового транспортера в сборную ванну истирающей машины. Оттуда она центробежным насосом (5) через гидроциклон, отделяющий мелкие твердые фракции, подается из сборной ванны в промежуточный бункер (6) с перфорированным дном, где отстаивается. Влага отстоя самотеком поступает обратно в машину (4). Отстой пульпы из приемного бункера периодически подается на винтовой пресс (7), где связанная влага отделяется.

Отделенная связанная влага вновь подается в истирающую машину (4), но уже насосом (8), на котором укреплен дозатор (9), восполняющий

потери ДР. Периодически излишек влаги, поступающей вместе с ТБО, удаляется из системы. Летом этот излишек, идет на полив городских зеленых насаждений спецавтомашинами (10), зимой, после добавочной обработки, – в канализацию. Излишек влаги может использоваться также в фотореакторах по выращиванию микроводорослей [10], и в процессе микробиологической переработки нефтешламов [11].

Шрот из-под винтового пресса отгружается в машины зелентреста (11) или тепличного комбината, где может использоваться не только в качестве ОМУ, но и в качестве согревающей подстилки.

Согревающая подстилка, будучи уложена под слой почвы (фото 3) и периодически поливаемая, выделяет достаточно тепла для согрева внутреннего пространства теплицы и углекислоты для подкормки растений. После использования по этому назначению, согревающая подстилка может использоваться в качестве ОМУ не только в теплицах, но и в садово-парковом хозяйстве.



Фото 3. Согревающая подстилка в теплице

Для удобства погрузки шрот может дополнительно прессоваться в брикеты на прессе стартового или роторного действия. Гашение

шрота (мелом или известью) может происходить при этом прессовании, либо на месте его укладки.





Фото 4. Использование пластиковых бутылок в качестве теплоизолятора перед укладкой согревающей подстилки

Мелкие твердые фракции, отделенные от пульпы в гидроциклоне, реализуются для использования в строительстве (инертный наполнитель), например, в подземном строительстве при закреплении слабых и структурно-неустойчивых грунтов физико-химическими и физико-механическими способами [12–21].

Предлагаемая технология санитарной обработки и утилизации ТБО весьма перспективна, поскольку:

- технологически проста (в сущности, истирающая машина – видоизмененная моечная машина);
- практически безотходна (утилизируются и шрот, и жидкая фракция);
- резко сокращает транспортные расходы (по вывозу ТБО за пределы городской черты) [22];

- сократит общую потребность в мощной технике, работающей на сборе и вывозе мусора в крупных городах;

- увеличит безопасность производственного процесса, по сравнению, как с процессом сжигания [23] ТБО (пиротоксины), так и процессом размещения его на полигонах (метан) [24];

- рециклирует (возвращает в оборот) большинство ценных компонентов ТБО размером более 10 мм [25];

- открывает новую нишу сбыта для гранулированной серы [26].

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ДР – дезинфицирующий раствор.

ОМУ – органоминеральные удобрения.

ТБО – твердые бытовые отходы

#### Список литературы

1. Булгакова Л. М. Обращение с отходами // Справочник эколога. 2013. № 5. С. 7–13.
2. Деяшкина О. Н. Раздельный сбор ТБО в России // Твердые бытовые отходы. 2009. № 4. С. 12–13.
3. Колин К. К. Стратегические приоритеты развития России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 2. С. 77–84.
4. Матросов А. С. Управление отходами. М.: Изд-во «Гардарики», 1999. С. 121–123
5. Цыганков А. П., Сенин В. Н. Циклические процессы в химической технологии. Основы безотходных производств. М.: Химия, 1988. С. 320.
6. Шаяхмедов Р. И. Алгоритм очищения // Техника молодежи. 2007. № 7. С. 21–22.
7. Экологический портал. URL: <http://portaleco.ru/ekologija-goroda/sostav-svoystva-i-obem-tverdyh-bytovykh-othodov.html> (дата обращения: 16.07.2018).
8. Шобингер У. Плодово-ягодные и овощные соки. М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. С. 472.
9. Шаяхмедов Р. И. Применение сернистой кислоты при переработке твердых бытовых отходов // Геология, добыча, переработка и экология нефтяных и газовых месторождений. Астрахань: Астрахань НИПИ газ, 2001. С. 170–172.
10. Шаяхмедов Р. И. Кожекенова А. А., Кортюченко Л. В. Использование фотореакторов кратерного типа для утилизации энергетического и сырьевого потенциала дымовых газов и сточных вод: материалы V международного форума молодых ученых. – Астрахань, АГАСУ. 2016. С. 368–375.
11. Shajahmedov R. I. Bacteria and sulfur destroy oil sludge // Oil market. 2010. № 1. С. 74–79.
12. Сапожников А. И., Купчикова Н. В. Армирование геосинтетическими материалами грунта основания с укреплением химическими составами и втрамбованным щебнем // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 3 (134). С. 42–44.
13. Купчикова Н. В., Николаенко М. Н., Овсянникова Т. Ю. Уровень развития градостроительной среды на урбанизированных территориях Астраханской области // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. Т. 45. № 2. С. 200–208.
14. Купчикова Н. В. Определение коэффициента постели по деформации свободного конца сваи с использованием методики дискретного преобразования Фурье // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Т. 4. № 1 (73). С. 206–209.
15. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования группы свай с поверхностными уширениями в виде ступеней // Строительство и реконструкция. 2018. № 1 (75). С. 45–54.

16. Купчикова Н. В. Учет сдвиговых деформаций свайных фундаментов с усиливающими элементами // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 3 (254). С. 17–22.
17. Купчикова Н. В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов под фундаментами физико-химическими методами с применением добавок-пластификаторов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44). С. 123–132.
18. Купчикова Н. В. Особенности берегоукрепления набережной реки Волги свайными оболочками, каменной наброской и строительства на намывных грунтах вдоль береговой зоны // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 6. С. 36–39.
19. Купчикова Н. В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчета // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 88–96.
20. Купчикова Н. В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 12 (111). С. 1361–1368.
21. Kupchikova N. V., Kurbatskiy E. N. Analytical method used to calculate pile foundations with the widening up on a horizontal static impact // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering Ser. "International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2017. 2017.
22. Генеральная схема санитарной очистки территории муниципального образования Южское. URL: <http://gukovodstvo.ru/exspl/30198/index.html?page=6> (дата обращения: 16.07.2018).
23. Шаяхмедов Р. И. Прием наоборот или использование твердых бытовых отходов для производства строительных материалов методом доменного пиролиза // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2017. № 3. С. 25–30
24. Метан с полигонов ТБО: возможности сокращения выбросов, совершенствования сбора и утилизации. URL: [https://globalmethane.org/documents/landfill\\_l\\_fs\\_rus.pdf](https://globalmethane.org/documents/landfill_l_fs_rus.pdf) (дата обращения: 16.07.2018)
25. Шаяхмедов Р. И. Цивилизация – рециклизация // Россия и регион : материалы межрегиональной научной конференции. Астрахань: МОСУ, 2003. С. 30–33.

© С. С. Евсеева

**Ссылка для цитирования:**

Евсеева С. С. Переработка твердых бытовых отходов методом мокрого истирания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2018. № 1 (23). С. 27–33.