

**Е. А. Васильева**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ  
ОТХОДАМИ**

**ЧАСТЬ 1**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
2025**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики**

**Е. А. Васильева**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАЩЕНИЯ  
С ТВЕРДЫМИ КОММУНАЛЬНЫМИ  
ОТХОДАМИ**

**ЧАСТЬ 1**

**Учебное пособие**

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург  
2025

**УДК 64:502.7 (075)**  
**ББК 65.9(2)441я7**  
**В 191**

*Рецензенты:*

кандидат технических наук, заведующий кафедрой охраны окружающей среды  
Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна  
*О. А. Шанова;*  
начальник службы по охране окружающей среды ООО «Марта Модуль-8»  
*И. И. Хуснимарданов*

**Васильева, Е. А.**

**В 191** Технология обращения с твердыми коммунальными отходами: учебное пособие. Часть 1 / Е. А. Васильева. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2025. — 70 с.  
ISBN 978-5-91646-433-7

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Технология обращения с твердыми коммунальными отходами» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии». В учебном пособии приведены общие положения по обращению с твердыми коммунальными отходами (ТКО), основные направления их утилизации и обезвреживания и методики расчета, которые могут быть использованы для решения практических задач при организации их сбора, транспортирования, обработки, утилизации, обезвреживания и размещения, а также для написания курсовых проектов и выпускных квалификационных работ.

Пособие предназначено для подготовки магистров очной формы обучения, а также для слушателей в системе дополнительного профессионального образования.

УДК 64:502.7 (075)  
ББК 65.9(2)441я7

ISBN 978-5-91646-433-7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2025  
© Васильева Е. А., 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                             | 4  |
| 1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ .....                                        | 5  |
| 1.1. Общие положения идентификации отходов.....                                            | 5  |
| 1.2. Методика расчета нормативов образования ТКО.....                                      | 12 |
| 1.3. Практическое задание .....                                                            | 13 |
| 2. СБОР И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ<br>ОТХОДОВ.....                           | 16 |
| 2.1. Общие положения по сбору и транспортированию ТКО .....                                | 16 |
| 2.2. Методика выбора и расчета оборудования для накопления<br>и транспортирования ТКО..... | 23 |
| 2.3. Практическое задание .....                                                            | 25 |
| 3. МУСОРОПЕРЕГРУЗОЧНЫЕ СТАНЦИИ И ЗАВОДЫ<br>ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ.....                     | 26 |
| 3.1. Мусороперегрузочные станции .....                                                     | 26 |
| 3.2. Мусороперерабатывающие заводы .....                                                   | 30 |
| 3.3. Компостирование ТКО .....                                                             | 39 |
| 3.4. Методика расчета завода КПО и МБПО.....                                               | 43 |
| 3.5. Практическое задание .....                                                            | 52 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....                                                              | 54 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ .....                                                                           | 59 |

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) актуальна для любого государства. Значительный рост количества упаковки, используемой в процессе обращения с промышленными и продовольственными товарами, разнообразие форм, цветов и размеров тары, повсеместное потребление композиционных и многослойных материалов, нерациональное использование продуктов питания приводит к увеличению объемов образования ТКО в расчете на одного жителя России. А с изменением характеристик ТКО неизбежно меняются и подходы к обращению с отходами в стране, развивается инфраструктура обращения с ТКО, меняются привычки и ожидания населения.

Согласно национальным целям развития, к 2030 году в России необходимо обеспечить сортировку 100% ТКО, снизить объем их захоронения в 2 раза, увеличив при этом на 50% долю утилизируемых отходов. Достижение таких показателей невозможно без участия высококвалифицированных кадров, обладающих компетенциями в сфере обращения с отходами.

В Высшей школе технологии и энергетики в учебный план магистратуры по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» включена дисциплина «Технология обращения с твердыми коммунальными отходами», которая предусматривает лекции, практические занятия и выполнение курсовой работы.

Настоящее учебное пособие позволит выработать у студентов соответствующие компетенции, закрепить полученные знания и подготовить их к решению задач, столь значимых для государства в настоящее время.

# 1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

## 1.1. Общие положения идентификации отходов

В настоящее время к *твердым коммунальным отходам (ТКО)* относят отходы, образующиеся в жилых помещениях в процессе потребления физическими лицами, а также товары, утратившие свои потребительские свойства в процессе их использования физическими лицами в жилых помещениях в целях удовлетворения личных и бытовых нужд. К твердым коммунальным отходам также относятся отходы, образующиеся в процессе деятельности юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и подобные по составу отходам, образующиеся в жилых и бытовых помещениях в процессе потребления физическими лицами [1]. Эти виды ТКО ранее было принято называть твердыми бытовыми отходами, сейчас это словосочетание в нормативной документации не используется.

Также к ТКО относятся отходы, образующиеся в процессе уборки отходов потребления с автомобильных дорог, газонов, территорий рекреационных зон, кладбищ и иных территорий городских и сельских поселений в различные периоды года. Эти отходы для упрощения понимания материала далее в тексте пособия названы *сметом уличным* или *сметом с территорий*.

Твердые коммунальные отходы, размер которых не позволяет осуществить их складирование в емкостях-мусоросборниках, называют крупногабаритными отходами (КГО). К ним относятся мебель, бытовая техника, сантехника, отходы от текущего ремонта и другие отходы из жилых помещений, размеры которых превышают 0,5 метра в высоту, ширину или длину. К КГО не относятся отходы, образованные при капитальном ремонте жилых помещений [2, 3].

Сходными по составу с ТКО также признаются эпидемиологически-безопасные медицинские отходы, образующиеся в бытовом секторе, например, при использовании больными неинфекционными заболеваниями одноразовых средств индивидуальной защиты (масок, респираторов, перчаток) и средств личной гигиены. Эти отходы относятся к группе медицинских отходов класса А, и допускается их складирование совместно с ТКО.

Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) обособляет от твердых коммунальных отходов отходы подобные коммунальным, относящиеся к твердым коммунальным отходам, и отходы подобные коммунальным, не относящиеся к твердым коммунальным отходам. Отходы от уборки производственных территорий и помещений, в том числе от ухода за зелеными насаждениями, не относятся к ТКО, поскольку могут содержать вредные вещества, выделяющиеся в результате хозяйственной деятельности [4]. Наименования и коды ТКО и относящихся к ним отходов приводятся в 7 блоке ФККО (Приложение 1).

При рассмотрении всего комплекса проблем, связанных с образованием, накоплением, сбором, транспортированием, обработкой, обезвреживанием,

утилизацией и размещением ТКО, в первую очередь, возникает вопрос о составе и свойствах этих отходов.

Далее речь пойдет в основном об отходах, которые образуются в жилищах и бытовых помещениях организаций. Состав указанных ТКО на стадии их образования зависит от назначения и расположения объектов образования отходов (климатической зоны, типа населенного пункта, степени благоустройства жилого фонда, культурных особенностей района и др.). Например, состав ТКО в крупных городах России отличается повышенным содержанием упаковочных материалов и пищевой фракции (табл. 1.1) [5-10].

Таблица 1.1 – Ориентировочный морфологический состав ТКО для некоторых городов России

| Компонент                           | Содержание в ТКО, % по массе |                    |            |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------|
|                                     | г. Москва                    | г. Санкт-Петербург | г. Уфа     |
| Пищевые отходы                      | 17                           | 27                 | 41         |
| Бумага, картон                      | 19                           | 21                 | 25         |
| Стекло                              | 18                           | 9                  | 6          |
| Текстиль                            | 1                            | 4                  | 3,5        |
| Синтетические полимеры (пластмассы) | 15                           | 12                 | 13         |
| Черный металлолом                   | 1                            | 4                  | 0,7        |
| Цветной металлолом                  | менее 1                      | менее 1            | 1          |
| Древесина                           | менее 1                      | 2,5                | 0,5        |
| Кожа, резина                        | менее 1                      | менее 1            | 1          |
| Кости                               | менее 1                      | менее 1            | нет данных |
| Полимерные композиционные материалы | нет данных                   | 2,5                | 3          |
| Прочее (неклассифицируемые фракции) | 15                           | 13                 | 1,3        |
| Отсев (менее 15 мм)                 | 12                           | 3,5                | 4          |

Усредненный морфологический состав смешанных твердых коммунальных отходов, образующихся в жилых помещениях и бытовых помещениях организаций, характерный для северной климатической зоны Российской Федерации, приведен в таблице 1.2 [5, 8, 9].

В таблице 1.2 приведен состав ТКО на сухую массу, но следует учитывать, что ТКО содержат значительное количество влаги. Влажность ТКО колеблется в интервале от 35 до 60 % в зависимости от условий их образования и накопления, а в отдельные периоды года может достигать 85 % (например, в августе и сентябре за счет повышенного потребления населением арбузов и иных продуктов питания с высокой влажностью).

Таблица 1.2. – Ориентировочный морфологический состав ТКО для северной климатической зоны России

| Компонент                           | Содержание в ТКО, % по массе |                       |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
|                                     | для объектов жилого фонда    | для объектов торговли |
| Пищевые отходы                      | 24-39                        | 6-16                  |
| Бумага, картон                      | 19-42                        | 20-52                 |
| Стекло                              | 4-8                          | 1-2                   |
| Текстиль                            | 4-6                          | 2-5                   |
| Синтетические полимеры (пластмассы) | 3-16                         | 8-16                  |
| Черный металлолом                   | 1-4                          | 0,5-4                 |
| Древесина                           | 1-5                          | 3-5                   |
| Кожа, резина                        | 1-4                          | 1-2                   |
| Камни, штукатурка                   | 1-3                          | 1-3                   |
| Кости                               | 1-2                          | 1-2                   |
| Цветной металлолом                  | 1-2                          | 0,1-4                 |
| Прочее (неклассифицируемые фракции) | 1-2                          | 2-3                   |
| Отсев (менее 15 мм)                 | 4-30                         | 5-12                  |

Одной из первоочередных задач при идентификации ТКО является установление их количественных характеристик. К таким характеристикам относятся удельные и валовые количества образующихся отходов. Удельным показателем является норматив накопления ТКО.

*Норматив накопления твердых коммунальных отходов* – это среднее количество ТКО, образующихся в единицу времени. Нормативы накопления ТКО определяются в количественных показателях объема ( $\text{м}^3$ ) и/или массы (кг) в годовом выражении на одну расчетную единицу.

Расчетными единицами являются, например, человек – для жилищного фонда; одно занимаемое место – для гостиниц или учреждений;  $1 \text{ м}^2$  торговой площади – для магазинов, территорий, складов и т.д. Однако в некоторых регионах осуществлен переход к использованию нормативов накопления ТКО в двух расчётных единицах: для жилых помещений – количество постоянно и временно проживающих в жилом помещении граждан, или общая площадь помещений, земельных участков и территорий.

Нормативы накопления ТКО устанавливаются органами исполнительной власти субъекта Российской Федерации или органами местного самоуправления поселений или городских округов по результатам натурных измерений и дифференцируются в зависимости от:

- территорий субъекта Российской Федерации, в том числе зон деятельности региональных операторов по обращению с отходами;
- категорий потребителей услуги по обращению с отходами;
- видов или групп однородных отходов.

Для определения объёма отходов, находящихся внутри контейнеров, используются в том числе DQW-система – система взвешивания отходов и/или



подсчёта количества операций опорожнения контейнеров. Натурные измерения количественных характеристик образования твердых коммунальных отходов (объема и массы) по 43 категориям объектов образования ТКО по всей стране использовались для установления среднегодовых нормативов накопления ТКО, прогнозирования нагрузки на территориально-производственный комплекс (ТПК) и планирования природоохранных мероприятий. В ходе установления нормативов учитывались факторы, влияющие на показатели накопления: сезонность, уровень доходов, урбанизация, официальная статистика о численности населения и нормативы генерации отходов [11-13].

*Региональный оператор по обращению с ТКО* – это оператор по обращению с ТКО, который обязан заключить договор на обращение с отходами с собственником отходов в зоне своей деятельности.

Региональным оператором может быть назначена по результатам конкурсного отбора любая компания с правовым статусом юридического лица, имеющая лицензию на весь перечень работ, связанных с обращением с ТКО. Статус регионального оператора присваивается на срок не более 10 лет. Региональные операторы имеют право оказывать услуги и по обращению с другими видами отходов помимо ТКО. Зоны деятельности различных региональных операторов ТКО определяются в территориальной схеме обращения с отходами и не должны пересекаться.

Региональный оператор вправе привлекать *операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами* к оказанию комплексной услуги по обращению с ТКО, которая включает сбор, транспортирование, обработку, обезвреживание, утилизацию и захоронение твердых коммунальных отходов.

Оператор по обращению с ТКО, оказывающий комплексную услугу, в свою очередь, также вправе привлекать иных операторов к оказанию услуг. Таким образом, один оператор по обращению с ТКО может принимать отходы из нескольких субъектов Российской Федерации от нескольких региональных операторов ТКО, если это подтверждено договорами и соответствует территориальной схеме обращения с отходами. Операторами по обращению с ТКО могут быть, например, заводы комплексной переработки отходов, полигоны ТКО, предприятия по обезвреживанию или утилизации ТКО и т.п.

*Территориальная схема обращения с отходами* – это совокупность графического и текстового материалов, описывающих систему организации и осуществления деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, захоронению отходов, в том числе ТКО, образующихся на территории субъекта Российской Федерации, и направлений ее развития на определенный период.

За выполнением операторами и региональными операторами ТКО своих обязанностей следит **российский экологический оператор (РЭО)** – публично-правовая компания, осуществляющая формирование комплексной системы обращения с ТКО, обеспечения управления указанной системой,

предотвращения вредного воздействия таких отходов на здоровье человека и окружающую среду, вовлечения в хозяйственный оборот в качестве сырья, материалов, изделий и превращения во вторичные ресурсы для изготовления новой продукции или получения энергии, а также в целях ресурсосбережения.

Российский экологический оператор отвечает за разработку Федеральной схемы обращения с ТКО, которая является частью федеральной государственной информационной системы учета твердых коммунальных отходов. Федеральная схема обращения с ТКО включает в себя информацию, содержащуюся во всех территориальных схемах обращения с ТКО [1].

При определении ожидаемого годового количества ТКО, подлежащих удалению, потребители услуг регоператора по обращению с ТКО обязаны документально подтвердить количество расчетных единиц (например, с помощью выписки из ЕГРН, проектной документации на объект, договора аренды, статистической отчетностью о деятельности организаций культурно-досугового типа и др.).

Нормативы накопления твердых коммунальных отходов от объектов различных категорий в Санкт-Петербурге и в Ленинградской области приведены в Приложениях 2 и 3 к настоящему учебному пособию [11-13].

Нормативы накопления КГО согласно СП 42.13330.2016 следует принимать в размере 5 % от объема ТКО, образованных на объектах жилищного фонда [14].

Нормативы накопления смета с территорий домовладений и мусора от уборки приобордюрной зоны автомобильных дорог (1,5 м) в большинстве субъектов России не установлены. Уборке подлежат только свободные проходы и проезды внутриквартальных территорий (ВКТ) с твердым покрытием, что обычно составляет около 5 % от общей площади твердых покрытий ВКТ. Кроме того, приусадебная (придомовая) территория индивидуального жилого строения (ИЖС) может рассматриваться как целостный объект при формировании твердых коммунальных отходов. Тогда отходы, образующиеся при уборке приусадебной территории ИЖС (смет, мусор от опила деревьев, а также иные отходы, образующиеся при содержании зеленых насаждений и т.п.), относятся к твердым коммунальным отходам. Для ориентировочных расчетов нормативов могут быть использованы статистические данные или данные из таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Ориентировочные нормативы накопления смета с территорий [5, 14]

| Тип покрытия для территории, подлежащей уборке           | Расчетная единица | Норматив накопления, кг/год |
|----------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Для усовершенствованных покрытий (асфальт, бетон и т.п.) | 1 м <sup>2</sup>  | 5-10                        |
| Для булыжных мостовых                                    |                   | 5-15                        |

ТКО содержат вторичные ресурсы (ВР) – отходы, которые или части которых могут быть повторно использованы для производства товаров, выполнения работ, оказания услуг (вторичные материальные ресурсы – ВМР) или получения энергии (вторичные энергетические ресурсы – ВЭР). ВР получают из ТКО в результате раздельного накопления, сбора или обработки отходов.

Часть ВР представляют собой отходы от использования товаров или упаковки (ОИТ), подлежащие утилизации производителем, поэтому для решения вопроса о целесообразности селективного накопления или выделения компонентов ТКО проводится их дифференцирование. Например, компонент «бумага» разделяют на условно чистую (утильную) и загрязненную; металлы – на изделия из черных металлов, лом и консервные банки; пластмассу – на упаковочную и изделия из пластмасс; стекло – на тару и стеклобой (табл. 1.4) [7, 8, 15].

Таблица 1.4 – Дифференцированный морфологический состав ТКО в Санкт-Петербурге на рабочую массу и принадлежность компонентов к ОИТ

| Наименование компонента                                                                                                         | Номер группы ОИТ, подлежащих утилизации | Норматив утилизации ОИТ на 2024 год, % | Содержание в ТКО, % |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| Пищевые отходы                                                                                                                  | -                                       | -                                      | до 30               |
| <i>Макулатура</i>                                                                                                               |                                         |                                        |                     |
| Картон крупный упаковочный                                                                                                      | 19, 46                                  | 45                                     | 1,4                 |
| Картонная упаковка небольшого размера, обложки, бланки, картон листовой                                                         | 3, 19, 46                               | 20-45                                  | 3                   |
| Бумага офисная для графических целей;<br>Газеты печатные;<br>Журналы печатные; печатные календари; рекламные буклеты и каталоги | 2                                       | 20                                     | до 10               |
| Прочие смешанные отходы бумаги и картона                                                                                        | 3, 18, 19, 45                           | 20-45                                  | 5                   |
| <i>Металлы черные</i>                                                                                                           |                                         |                                        |                     |
| Лом черных металлов                                                                                                             | -                                       | -                                      | 0,7                 |
| Жестяные банки                                                                                                                  | 31,47                                   | 30                                     | 1,5                 |
| <i>Металлы цветные</i>                                                                                                          |                                         |                                        |                     |
| Лом цветных металлов                                                                                                            | -                                       | -                                      | 0,1                 |
| Алюминиевые банки                                                                                                               | 47                                      | 30                                     | 0,6                 |
| Электрошрот                                                                                                                     | -                                       | -                                      | 0,8                 |
| <i>Полиолефиновые пленки</i>                                                                                                    |                                         |                                        |                     |
| ПЭ пленки прозрачные                                                                                                            | 22, 24, 35, 37                          | 30                                     | До 8                |
| ПП пленки прозрачные                                                                                                            | 25, 38                                  | 30                                     |                     |
| ПЭ пленки тонкие цветные                                                                                                        | 22, 24, 35, 37                          | 30                                     |                     |
| ПЭ пленки плотные цветные                                                                                                       | 22, 24, 35, 37                          | 30                                     |                     |
| ПП пленки цветные                                                                                                               | 25, 38                                  | 30                                     |                     |
| Смешанные пленки                                                                                                                | -                                       | -                                      |                     |

Таблица 1.4. Окончание

| Наименование компонента                                                        | Номер группы ОИТ, подлежащих утилизации | Норматив утилизации ОИТ на 2024 год, % | Содержание в ТКО, % |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------|
| Тара из термопластов                                                           |                                         |                                        |                     |
| ПЭ бутылки и контейнеры бытовые                                                | 22                                      | 30                                     | 0,7                 |
| ПЭ бутылки и контейнеры пищевые                                                | 22                                      | 30                                     | 0,3                 |
| ПП бутылки                                                                     | 25, 38                                  | 30                                     | 0,6                 |
| ПП мешки                                                                       | 25, 38                                  | 30                                     | 0,1                 |
| ПС упаковка                                                                    | 26, 39                                  | 30                                     | 0,7                 |
| ПВХ упаковка                                                                   | 23, 36                                  | 30                                     | 0,1                 |
| ПЭТ бутылки белые и голубые                                                    | 20, 33                                  | 30                                     | до 3,5              |
| ПЭТ бутылки зеленые                                                            | 21, 34                                  | 30                                     |                     |
| ПЭТ бутылки темные                                                             | 21, 34                                  | 30                                     |                     |
| Композиционные материалы из полимеров                                          |                                         |                                        |                     |
| Средства личной гигиены на основе синтетических полимеров                      | -                                       | -                                      | до 3                |
| Упаковка ламинированная, тетрапак                                              | 32, 52                                  | 20                                     | 2,3                 |
| Прочие пластмассы                                                              | 16, 27, 40, 44                          | 30                                     | 1,0                 |
| Стекло                                                                         |                                         |                                        |                     |
| Бутылки прозрачные                                                             | 29, 50                                  | 25                                     | до 7,5              |
| Бутылки зеленые                                                                |                                         |                                        |                     |
| Бутылки коричневые                                                             |                                         |                                        |                     |
| Стеклобой, бутылки нестандартных цветов                                        | -                                       | -                                      | 1,5                 |
| Прочие компоненты                                                              |                                         |                                        |                     |
| Текстиль                                                                       | 1, 28, 49                               | 10                                     | 3,2                 |
| Кожа, резина, обувь                                                            | 6                                       | 10                                     | 1,0                 |
| Дерево                                                                         | 17, 48                                  | 20                                     | до 2,5              |
| Прочее                                                                         | 6, 7, 8, 9, 16                          | 10                                     | до 3                |
| Отсев менее 50 мм (смесь пищевых отходов, обрывков бумаги и полимерной пленки) | -                                       | -                                      | до 20               |

Как видно из таблицы 1.4, до 50 % компонентов ТКО входят в перечень отходов от использования товаров и упаковки, подлежащих утилизации. Причем, согласно новой концепции расширенной ответственности производителей, норматив утилизации упаковки из всех материалов в 2025 г. составит 55 %; в 2026 г – 75 %; в 2027 г. – 100 % от массы произведенной упаковки, а норматив утилизации товаров будет поэтапно расти на 10 % в год [15]. Однако существующая в большинстве населенных пунктов России практика совместного накопления и сбора ТКО не обеспечивает предварительного удаления вторичных ресурсов. Современная стратегия сбора муниципальных отходов предполагает внедрение селективного накопления

некоторых материалов, например, внедрение дуальной системы сбора ТКО, когда отдельно от основной массы собираются отходы упаковки.

Нормативы накопления для организаций, учреждений и предприятий общественного назначения в крупных городах составляют 30-60 % от нормативов накопления для жилых домов, но такие ТКО содержат большую долю потенциальных вторичных ресурсов, чем отходы от жилищ.

Мусор, образующийся при уборке прибордюрной зоны автомобильных дорог, не представляет такой ресурсной ценности, как ТКО из помещений, поскольку содержит в составе в основном песок и грунт (около 60 %), а также примеси бумаги (10 %), пластмассы (12 %), стекла (7 %), текстиля (6 %), черных и цветных металлов (5 %) [5].

## 1.2. Методика расчета нормативов образования ТКО

Среднегодовой норматив образования твердых коммунальных отходов от населенного пункта или отдельного района рассчитывается как сумма нормативов различных видов ТКО, собираемых от всех категорий природопользователей – объектов образования ТКО, осуществляющих их накопление в данном населенном пункте:

$$M_{\text{ТКО}} = \sum (M_{\text{ТКО } i} \cdot n_i), \text{ т/год},$$

где  $M_{\text{ТКО } i}$  – валовый массовый норматив накопления ТКО для объекта образования отходов, относящегося к  $i$ -й категории потребителей, т/год;

$n_i$  – количество идентичных по характеристикам объектов образования ТКО, относящихся к  $i$ -й категории потребителей.

$$V_{\text{ТКО}} = \sum (V_{\text{ТКО } i} \cdot n_i), \text{ м}^3/\text{год},$$

где  $V_{\text{ТКО } i}$  – валовый объемный норматив накопления ТКО для  $i$ -го объекта образования отходов,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

Валовые нормативы накопления ТКО для индивидуальных объектов образования отходов, относящихся к  $i$ -й категории потребителей, рассчитываются по общим формулам:

$$M_{\text{ТКО } i} = N_i \cdot H_{\text{им}}, \text{ т/год},$$

где  $N_i$  – количество расчетных единиц, установленных в качестве основных для  $i$ -й категории потребителей (жители, сотрудники,  $\text{м}^2$  и др.);

$H_{\text{им}}$  – массовый норматив накопления ТКО на одну расчетную единицу в год для объекта образования отходов, относящегося к  $i$ -й категории потребителей,  $\text{т}/(\text{р.ед.} \cdot \text{год})$ .

$$V_{\text{ТКО } i} = N_i \cdot H_{\text{ив}}, \text{ м}^3/\text{год},$$

где  $H_{\text{ив}}$  – объемный норматив накопления ТКО на одну расчетную единицу в год для объекта образования отходов, относящегося к  $i$ -й категории потребителей,  $\text{м}^3/(\text{р.ед.} \cdot \text{год})$ .

Если в нормативной документации нормативы накопления ТКО даны только в массовых или только в объемных единицах, для их пересчета могут быть использованы значения плотностей, характерные для соответствующей

категории потребителей услуг по обращению с ТКО или средняя плотность, используемая при расчетах региональным оператором.

Для расчета нормативов накопления КГО от жилищ годовые массовые нормативы накопления ТКО от указанных объектов домножаются на коэффициент 0,05 [14].

При расчете нормативов накопления для потребителей с сезонным или сокращенным периодом работы нужно использовать поправку на режим работы, которая вычисляется как отношение продолжительности рабочего периода в сутках к продолжительности календарного года.

$$M_{\text{ТКО } i} = \frac{N_i \cdot H_{\text{im}} \cdot t_i}{364}, \frac{\text{т}}{\text{год}}$$

$$\text{и } V_{\text{ТКО } i} = \frac{N_i \cdot H_{\text{iv}} \cdot t_i}{364}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}},$$

где  $t_i$  – количество рабочих дней в году для объекта  $i$ -й категории, сут/год.

Валовое количество твердых коммунальных отходов от учреждений и организаций, для которых норматив накопления установлен исходя из средней пропускной способности, рассчитывается по количеству персон (посетителей, клиентов и т.п.), которым за год на объекте  $i$ -й категории были оказаны услуги.

Количество персон, которым за год на каком-либо объекте были оказаны услуги, может быть посчитано по формуле:

$$N_i = x_{ni} \cdot t_i,$$

где  $x_{ni}$  – среднесуточное количество людей, воспользовавшихся услугами на объекте  $i$ -й категории, сут<sup>-1</sup>.

Для расчета среднесуточных нормативов накопления ТКО используются формулы:

$$M_{\text{ТКО } i}^{\text{сут}} = \frac{M_{\text{ТКО } i}}{t_i}, \frac{\text{т}}{\text{сут}}$$

$$\text{и } V_{\text{ТКО } i}^{\text{сут}} = \frac{V_{\text{ТКО } i}}{t_i}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

### 1.3. Практическое задание

Необходимо идентифицировать отходы по ФККО. Определить валовое и суточное количество отходов, образующихся от каждого объекта, от каждой группы объектов и общее валовое количество ТКО в массовых и объемных единицах.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.5. Район города или муниципальное образование задается преподавателем. Результаты заносятся в сводную таблицу.

Таблица 1.5 – Исходные данные для расчета

| Объект образования отходов                                      | Характеристики объектов образования отходов                                   |          |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                                                 | характеристика                                                                | значение |
| Многоквартирные жилые дома                                      | количество домов                                                              | 1200     |
|                                                                 | площадь жилых помещений на 1 дом, м <sup>2</sup>                              | 1350     |
| Индивидуальные жилые дома                                       | количество домов                                                              | 880      |
|                                                                 | общее количество жителей, чел.                                                | 3 520    |
| Мастерская по ремонту бытовой техники                           | площадь помещений, подлежащих уборке, м <sup>2</sup>                          | 250      |
|                                                                 | режим работы, дней/год                                                        | 248      |
| Улицы, парковые зоны и кладбища                                 | общая площадь прибордюрной зоны автодорог, подлежащая уборке, км <sup>2</sup> | 0,8      |
|                                                                 | площадь парковых территорий, га                                               | 20,6     |
|                                                                 | площадь кладбища, га                                                          | 7,3      |
| Сетевой магазин запчастей для бытовой техники и сервисный центр | количество торговых точек                                                     | 3        |
|                                                                 | количество работников сервисного центра, чел *                                | 25       |
|                                                                 | площадь торгового зала, м <sup>2</sup> *                                      | 310      |
|                                                                 | <i>*Все характеристики указаны для одной торговой точки</i>                   |          |
| Детский сад                                                     | количество детских садов                                                      | 4        |
|                                                                 | количество воспитанников в одном детском саду, чел                            | 280      |
| Школа                                                           | количество школ                                                               | 6        |
|                                                                 | количество учащихся в 1 школе, чел                                            | 600      |
| Библиотека                                                      | количество мест в читальном зале                                              | 24       |
|                                                                 | количество сотрудников                                                        | 3        |
|                                                                 | режим работы, дней/год: для читателей                                         | 210      |
|                                                                 | для сотрудников                                                               | 364      |
| Спортивный зал                                                  | количество                                                                    | 1        |
|                                                                 | площадь помещений, м <sup>2</sup>                                             | 440      |
|                                                                 | суточное количество посещений, сут <sup>-1</sup>                              | 260      |
| Автовокзал                                                      | пассажиропоток, чел/сут                                                       | 980      |
|                                                                 | режим работы: без выходных                                                    |          |
| Магазины:<br>1) продовольственных товаров                       | количество                                                                    | 8        |
|                                                                 | площадь одного магазина, м <sup>2</sup>                                       | 121      |
| 2) строительных и хозяйственных товаров                         | количество                                                                    | 2        |
|                                                                 | площадь одного магазина, м <sup>2</sup>                                       | 350      |
| 3) супермаркеты (универсамы)                                    | количество                                                                    | 6        |
|                                                                 | площадь одного магазина, м <sup>2</sup>                                       | 1500     |
| Торгово-развлекательный комплекс                                | количество                                                                    | 1        |
|                                                                 | площадь одного магазина, м <sup>2</sup>                                       | 7800     |
| Кинотеатр                                                       | режим работы: без выходных                                                    |          |
|                                                                 | количество мест                                                               | 1280     |

Окончание табл. 1.5

| Объект образования отходов | Характеристики объектов образования отходов         |          |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|----------|
|                            | характеристика                                      | значение |
| Кафе                       | количество                                          | 22       |
|                            | средняя общая площадь одного кафе, м <sup>2</sup>   | 110      |
|                            | режим работы: без выходных                          |          |
| Салон красоты              | количество                                          | 4        |
|                            | средняя общая площадь одного салона, м <sup>2</sup> | 85       |
|                            | режим работы: дней/год                              | 248      |
| Баня                       | количество                                          | 1        |
|                            | средняя общая площадь одной бани, м <sup>2</sup>    | 150      |
|                            | режим работы: дней/год                              | 310      |
| Аптека                     | количество                                          | 4        |
|                            | средняя площадь помещений, м <sup>2</sup>           | 90       |
|                            | режим работы: без выходных                          |          |
| Банк                       | количество                                          | 3        |
|                            | количество сотрудников                              | 120      |
|                            | площадь помещений, м <sup>2</sup>                   | 520      |
|                            | режим работы, дней/год                              | 248      |
| Административное здание    | количество сотрудников                              | 270      |
|                            | режим работы, дней/год                              | 248      |
| Гостиница                  | количество мест                                     | 60       |
|                            | режим работы: без выходных                          | -        |

Нормативы накопления КГО при расчетах следует принимать в размере 5 % от массы ТКО, образованных на объектах жилищного фонда.



## 2. СБОР И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

### 2.1. Общие положения по сбору и транспортированию ТКО

Как уже отмечалось выше, сбор и транспортирование твердых коммунальных отходов осуществляют операторы по обращению с ТКО.

*Сбор отходов* – это прием отходов с целью их дальнейших обработки, утилизации, обезвреживания, размещения лицом, осуществляющим их обработку, утилизацию, обезвреживание, размещение.

*Транспортирование отходов* – перемещение отходов с помощью транспортных средств вне границ земельного участка природопользователя (предприятия, домовладения и т.п.) [1].

*Вывоз ТКО* – транспортирование твердых коммунальных отходов от мест (площадок) их накопления до объектов, используемых для обработки, утилизации, обезвреживания, захоронения твердых коммунальных отходов.

После приема ТКО от природопользователей (с момента погрузки ТКО в мусоровоз) региональный оператор принимает на себя обязательства по дальнейшему обращению с этими отходами [16].

К полномочиям органов местного самоуправления городских поселений относятся:

- создание и содержание площадок накопления ТКО (за исключением случаев, когда такая обязанность лежит на других лицах);
- определение схемы размещения площадок накопления ТКО и ведение реестра площадок;
- организация экологического воспитания и формирования экологической культуры в области обращения с ТКО [1, 17].

Региональный оператор ежегодно до фактической установки емкостей для накопления ТКО, направляет в орган местного самоуправления сведения о количестве объеме и координатах площадок, на которых планируется разместить такие емкости. Таким образом, региональный оператор самостоятельно определяет места для накопления ТКО, а также периодичность вывоза отходов с учетом санитарных и иных требований и заявлений потребителей.

При определении способа накопления и расчете предельного количества ТКО, накапливаемых на площадках накопления, учитывается ряд показателей:

- доступная площадь территории, предназначенной для накопления;
- наличие селективного накопления отходов;
- суточные и валовые нормативы накопления ТКО;
- токсичность и опасные свойства отхода;
- сроки предельного накопления отходов;
- климатические условия на территории, предназначенной для накопления.

Накопление ТКО осуществляется в специальные мусоросборники – контейнеры и бункеры. Бункер предназначен для складирования КГО.

Место (площадка) накопления твердых коммунальных отходов, обустроенное в соответствии с требованиями законодательства и предназначенное для размещения контейнеров и бункеров, называется

контейнерной площадкой. Также для складирования исключительно КГО навалом могут быть оборудованы отдельные «специальные площадки» [1, 17].

Мусоросборники ТКО обычно представляют собой металлические или пластиковые контейнеры. Различают стационарные, передвижные и транспортные контейнеры – пухто. Характеристики некоторых сборников для ТКО приведены в Приложении 4.

Стационарные сборники включают приемник и накопитель. Приемник находится на поверхности, а накопитель – заглублен под землю. Накопители могут представлять собой контейнеры, которые опускают под землю на специальной платформе и поднимают только для загрузки ТКО в мусоровоз. В отдельных городах России распространение получили заглубленные стационарные контейнеры со сборниками в виде биг-бэгов – объемных тканевых или полимерных пакетов, извлекаемых из сборника манипулятором мусоровоза. Альтернативой подземным хранилищам является вакуумный мусоропровод, который работает по принципу пневматической почты. Отходы могут подвергаться в поверхностных сборниках прессованию, после чего передаваться в общий накопитель. К такой системе можно подключить несколько мусорных баков, например, все баки небольшого района. Пневматические системы сбора мусора применяются в Скандинавии, Испании, арабских странах, Китае. В России подобные системы функционируют в нескольких жилых домах г. Москва.

Контейнеры и бункеры могут приобретаться собственниками/арендаторами земельных участков, на которых расположены контейнерные площадки; органами местного самоуправления, создавшими места накопления ТКО; организациями, осуществляющими управление многоквартирным домом; а в некоторых случаях – региональным оператором.

Контейнерная площадка (контейнерный парк) должна соответствовать следующим требованиям:

- 1) иметь асфальтированное или бетонированное покрытие с уклоном в сторону проезжей части 0,02 %;
- 2) быть удалена от жилых домов, детских учреждений и рекреационных зон на расстояние  $20 \leq l \leq 100$  м (при селективном накоплении фракций ТКО:  $8 \leq l \leq 100$  м);
- 3) быть расположена с учетом обеспечения возможности подъезда транспорта (иметь подъездной путь);
- 4) быть огорожена, например, железобетонным ограждением или живой изгородью из декоративных растений [17-19].

К специальным площадкам КГО предъявляются аналогичные требования с уточнением, что ограждение с трех сторон должно иметь высоту не менее 1 м.

В 2020 году в рамках реализации в России циркулярной экономики Правительство РФ утвердило «дорожную карту» по введению раздельного сбора твердых коммунальных отходов. Основными целями «дорожной карты» являются максимальное извлечение из ТКО вторичных ресурсов и их последующее вовлечение в хозяйственный оборот. Извлечение может

осуществляться путем обработки отходов (сортировки) или селективного накопления ТКО (разделения ТКО отходообразователями).

*Обработка отходов* – это предварительная подготовка отходов к дальнейшей утилизации, включая их сортировку, разборку, очистку [1].

Сортировка ТКО на площадках накопления, на территориях жилых домов, учебных и медицинских организаций строго запрещена, однако на территориях домовладений могут находиться пункты приема вторичных материальных ресурсов (ВМР), в которые население может передавать некоторые материалы и изделия, потерявшие потребительские свойства вместо их помещения в сборники ТКО.

На контейнерной площадке допускается располагать:

- при отсутствии селективного накопления – не более 8 контейнеров;
- при наличии селективного накопления (в т.ч. дуального) – не более 12 контейнеров, из которых 4 – для раздельного накопления фракций ТКО;
- не более 2 бункеров для накопления КГО [18].

Двухпоточная или дуальная система сбора ТКО предусматривает накопление отходов в двух типах контейнеров: контейнеры для смеси вторичных ресурсов и контейнеры для остальных ТКО. Смесь перерабатываемых отходов вывозится с контейнерной площадки на сортировочный комплекс. Прочие ТКО не подлежат сортировке и вывозятся на объект размещения.

Требования к маркировке и цветовой гамме мусоросборников могут содержаться в нормативной правовой документации регионального уровня. При осуществлении раздельного накопления отходов на всех контейнерах рекомендуется разместить информационные таблички о видах ТКО и организациях, осуществляющих их обслуживание (информация дублируется с помощью QR-кода). Устанавливаемые на контейнерной площадке контейнеры могут иметь индивидуальную цветовую индикацию в соответствии с их назначением. В Санкт-Петербурге применяется следующая цветовая индикация: синий цвет – контейнер для бумаги и картона; желтый – для пластмасс и металлов; черный – для отходов стекла; зеленый – для смешанных влажных ТКО.

Владельцем контейнерной площадки должна быть исключена возможность попадания отходов из мусоросборников на контейнерную площадку и смешивание отходов из разных контейнеров, т.е. контейнеры должны быть оборудованы закрывающимися крышками или иными механизмами [18].

Расстояние между контейнерами рекомендуется принимать не менее 250 мм, а расстояние между контейнерами и ограждением должно быть не менее 1 м (рис. 2.1).

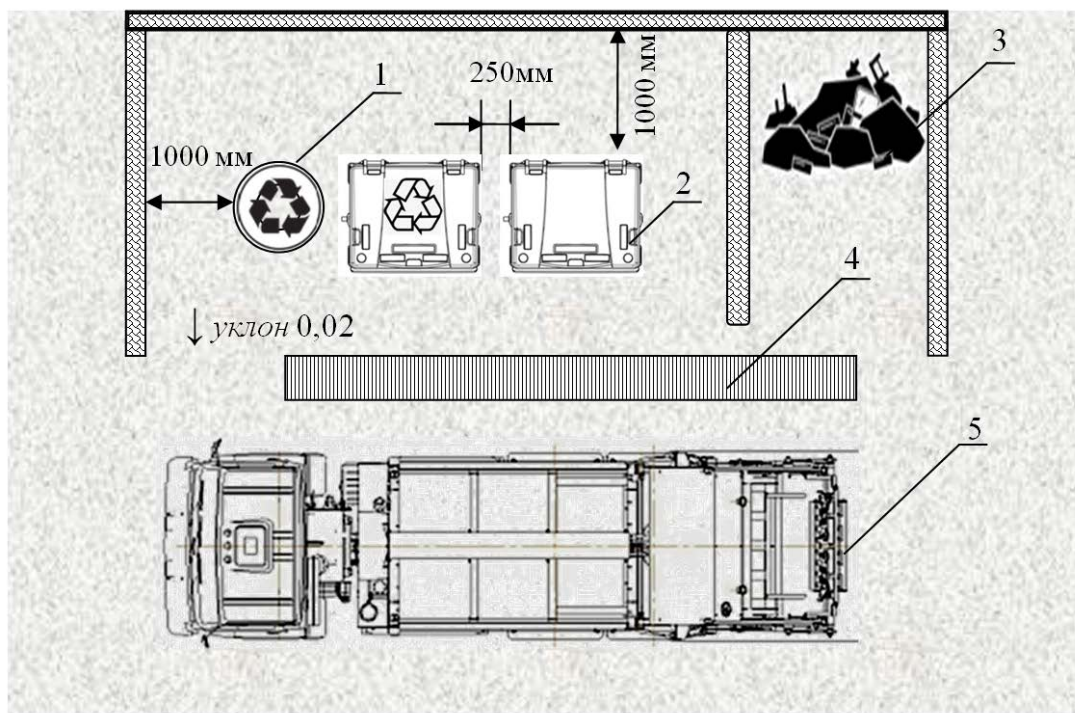


Рисунок 2.1 – Примерная схема контейнерной площадки с бетонированным покрытием:

1 – контейнер для селективного накопления фракций ТКО; 2 – контейнер для смешанного накопления ТКО; 3 – площадка для накопления КГО навалом; 4 – приемник ливневых сточных вод; 5 – мусоровоз

Владелец контейнерной площадки или специальной площадки для КГО обязан обеспечивать её уборку (в т.ч. от выпавших после погрузки в мусоровоз отходов), дезинсекцию и дератизацию. Не допускается промывка контейнеров и бункеров на контейнерных площадках.

Органы местного самоуправления осуществляют ведение базы данных, содержащей наиболее важные сведения о контейнерной площадке, – реестра контейнерных площадок. Реестр содержит следующую информацию о контейнерной площадке:

- адрес и координаты;
- технические характеристики;
- данные о собственнике;
- данные об источниках образования ТКО [1, 17, 18].

Схема расположения площадок накопления ТКО отражает данные о нахождении площадок на карте муниципального образования масштаба 1:2000 [17].

В соответствии с нормативными документами твердые коммунальные отходы имеют IV и V классы опасности [4]. К опасным свойствам ТКО можно отнести содержание возбудителей инфекционных заболеваний, бактерий, для которых органическая часть ТКО является благоприятной средой для размножения. Кроме того, твердые коммунальные отходы домохозяйств содержат значительную долю пищевых компонентов, что привлекает грызунов

и птиц. При длительном хранении органическая часть ТКО подвергается аэробному сбраживанию с выделением опасных веществ и одорантов. С этими факторами связаны требования о чистке и дезинфекции мусоросборников и о соблюдении сроков предельного накопления ТКО на территории домовладений. В зависимости от внешних температурных условий установлена следующая периодичность вывоза ТКО:

- в холодное время года (при температуре  $-5^{\circ}$  и ниже) – 3 суток;
- в теплое время (при плюсовой температуре свыше  $+5^{\circ}$ ) и в южной климатической зоне – 1 сутки [18, 19].

Вывоз видов, групп однородных отходов, складываемых в специализированные контейнеры для раздельного накопления ТКО, за исключением смешанных влажных ТКО, осуществляется не реже 1 раза в 10 суток.

Вывоз КГО осуществляется не реже 1 раза в 10 суток в холодное время года, и не реже 1 раза в 7 суток – в теплое.

На контейнерной площадке должна быть размещена информация (например, информационный щит) об осуществлении на ней раздельного накопления отходов, видах накапливаемых отходов, а также графике вывоза ТКО и осуществляющих вывоз организациях.

Допускается сбор и вывоз ТКО с территорий сельских поселений или с территорий малоэтажной застройки городских поселений бестарным методом (т.е. без накопления на контейнерных площадках) [18].

Современным законодательством в области обращения с отходами предусмотрен ряд требований к их транспортированию, которые распространяются и на ТКО:

- наличие паспорта опасного отхода (водитель должен иметь при себе копии паспортов перевозимых отходов);
- наличие специального транспорта, снабженного специальными знаками;
- наличие документации с указанием количества транспортируемых отходов, цели и места назначения их транспортирования (например, транспортных накладных) [1].

Для транспортирования ТКО применяется спецтранспорт – собирающие и транспортные мусоровозы различных конструкций. Мусоровозы должны отвечать общим техническим требованиям и требованиям безопасности, установленным законодательством Российской Федерации о техническом регулировании. Одним из требований является оснащение мусоровозов аппаратурой спутниковой навигации.

Мусоровозы отличаются грузоподъемностью, объемом кузова, типом механизма загрузки, способом загрузки и типом кузова, наличием механизма уплотнения отходов. Характеристики некоторых мусоровозов приведены в Приложении 5.

Различают одноэтапную схему транспортирования ТКО, которая включает только маршруты первого плеча, и двухэтапную, которая включает маршруты первого и второго плеча.

Маршрут первого плеча обеспечивает перемещение ТКО от источников образования (объектов образования ТКО, контейнерных площадок, специальных площадок) до мусороперегрузочных станций, объектов обработки, утилизации, обезвреживания, размещения ТКО.

Второе плечо включает маршруты транспортирования твердых коммунальных отходов от перегрузочных станций, объектов обработки, утилизации, обезвреживания до иных объектов обработки, утилизации, обезвреживания, размещения ТКО [20].

Собирающие мусоровозы предназначены для сбора отходов с площадок и их транспортирования на небольшие расстояния до полигона или иных объектов по обращению с ТКО и используются преимущественно на маршрутах первого плеча.

Транспортные (большегрузные) мусоровозы предназначены для транспортирования большого количества отходов на значительные расстояния и характеризуются емкостью превышающей 45 м<sup>3</sup>. Например, транспортные мусоровозы применяются для транспортирования укрупненных партий отходов от мусороперегрузочной станции до объекта размещения отходов (полигона).

Сегодня широкое распространение получили собирающие мусоровозы, оборудованные прессовальными механизмами, и универсальные мусоровозы. Универсальный мусоровоз предполагает наличие съемного кузова, что позволяет одной единице техники выполнять функции нескольких машин. Этот вид спецтехники становится все более востребованным в связи с развитием двухэтапной системы транспортирования ТКО. В качестве съемного кузова может использоваться пресс-компактор (пресс-контейнер), который предназначен для приема ТКО в загрузочную камеру и их уплотнения в накопительном кузове. Техника, поддерживающая функцию прессования отходов, имеет коэффициент уплотнения мусора от 2,5 единиц до 7.

В соответствии с современными требованиями законодательства перевозка отходов должна осуществляться на спецтранспорте, на который нанесены специальные отличительные знаки в виде расположенных в вертикальной плоскости двух квадратных табличек белого цвета. Одна из табличек размещается в левом нижнем углу переднего стекла, а другая – на задней торцевой стороне транспортного средства или на боковых сторонах контейнера (рис. 2.2) [21].

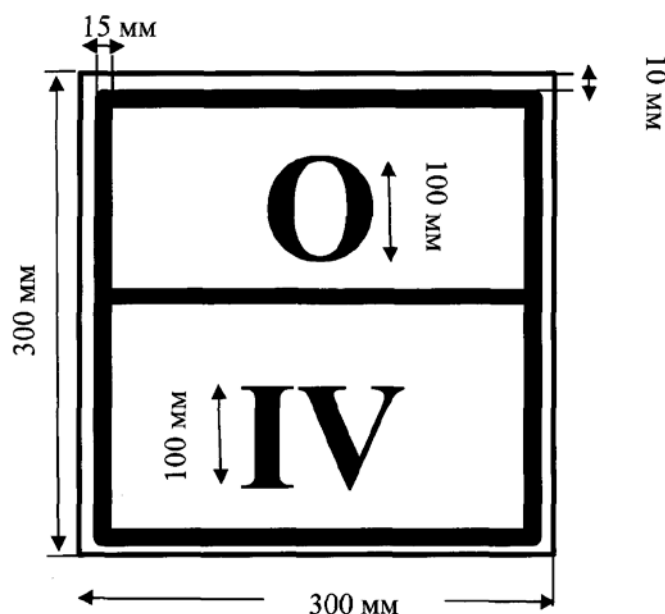


Рисунок 2.2 – Пример маркировки спецтранспорта, перевозящего ТКО IV класса опасности

Поскольку условия и способы транспортирования отходов должны быть безопасными для здоровья населения и среды обитания, не реже 1 раза в 10 суток должна проводиться мойка мусоровоза с дезинфекцией.

При выборе режима работы спецтранспорта следует учитывать, что продолжительность работы водителей может устанавливаться не более 1,5 смен. Нормы времени на пробег мусоровозов к месту загрузки и выгрузки отходов, с одного участка выполнения работ на другой, от гаража к месту проведения работ и обратно представлены в Рекомендациях по нормированию труда работников предприятий внешнего благоустройства [22].

Эффективность маршрутизации может быть повышена за счет применения математического моделирования процесса вывоза ТКО в рамках создания и корректировки территориальных схем обращения с отходами.

*Территориальные схемы обращения с отходами* – совокупность текстового и графического (в т.ч. электронного) материала для реализации деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов, в том числе ТКО, образующихся на территории субъекта Российской Федерации, и направлений ее развития на определенный период. Территориальная схема разрабатывается на срок не менее 10 лет и содержит информацию:

- о движении потоков ТКО (схемы потоков и количественные характеристики);
- об объектах образования ТКО и накопления;
- об объектах обработки, утилизации, обезвреживания, размещения ТКО (действующих, проектируемых и выводимых из эксплуатации);
- о тарифах и зонах ответственности региональных операторов [1, 20].

Ключевой частью территориальной схемы является раздел «Баланс количественных характеристик образования, обработки, утилизации, обезвреживания, размещения твердых коммунальных отходов».

Электронная модель территориальной схемы представляет собой интерактивную карту, в которую интегрированы все перечисленные выше сведения. В электронной модели территориальной схемы используются географические координаты в системе координат WGS-84.

Перед утверждением РЭО проводит экспертизу проекта территориальной схемы [20].

## 2.2. Методика выбора и расчета оборудования для накопления и транспортирования ТКО

Расчет потребности в контейнерах  $i$ -го объекта образования отходов осуществляется по формуле:

$$N_{сбi} = \frac{M_{ТКОi}^{сут} \cdot T}{\rho_{i1}} \cdot \frac{k_n \cdot k_p}{V_{сб} \cdot k_3} = V_{ТКОi}^{сут} \cdot T \cdot \frac{k_n \cdot k_p}{V_{сб} \cdot k_3},$$

где  $T$  – периодичность вывоза ТКО или КГО (количество суток между очередными вывозами), сут;

$k_n$  – коэффициент неравномерности накопления ТКО,  $k_n = 1,25$ ;

$k_p$  – коэффициент повторного заполнения отходами контейнеров в результате уборки контейнерной площадки после разгрузки контейнеров,  $k_p = 1,05$ ;

$V_{сб}$  – объем одного контейнера,  $m^3$ ;

$k_3$  – коэффициент заполнения контейнеров. При расчете можно принять от 0,75 до 0,9;

$\rho_{i1}$  – насыпная плотность ТКО, характерная для  $i$ -го объекта образования отходов,  $t/m^3$ . Ориентировочные плотности ТКО от уборки территорий приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Плотности твердых коммунальных отходов, образующихся при уборке некоторых территорий [14]

| Категория объекта                                                            | Средняя плотность ТКО, $кг/м^3$ |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Территории с асфальтированным, бетонным, булыжным или иным твердым покрытием | 625                             |
| Аллеи, парки, скверы, кладбища, колумбарии и т.п.                            | 75                              |

Полученное расчетное количество контейнеров округляется в большую сторону до ближайшего целого числа.

Объем сборника, наиболее подходящего для нужд объекта образования ТКО, осуществляется путём перебора объемных характеристик доступных мусоросборников (Приложение 4). Оптимальным можно считать объем, при котором дробное расчетное количество контейнеров максимально приближено к округленному целому значению.



Площадь контейнерной площадки определяется исходя из параметров ограждения и рассчитывается по формуле:

$$S_{кпi} = L_{кпi} \cdot B_{кпi}, \text{ м}^2,$$

где  $L_{кпi}$  – длина ограждения контейнерной площадки, м;

$B_{кпi}$  – ширина ограждения контейнерной площадки, м.

Для расчета рекомендуется схематично изобразить расположение мусоросборников. Оптимальной является линейная схема расположения контейнеров (рис. 2.1), для которой длина ограждения может быть вычислена по формуле:

$$L_{кпi} = (N_{сбi} - 1) \cdot 0,25 + 2 + x_i \cdot N_{сбi} + X_i, \text{ м},$$

где  $x_i$  – длина контейнера для ТКО, используемого на  $i$ -м объекте образования ТКО, м,

$X_i$  – длина отгороженного пространства для КГО (специальной площадки), м.

Ширина ограждения контейнерной площадки

$$B_{кпi} = y_i + 2, \text{ м},$$

где  $y_i$  – ширина контейнера для ТКО, используемого на  $i$ -м объекте образования ТКО, м.

Упрощенно количество мусоровозов может быть рассчитано исходя из суточного количества рейсов, необходимого для вывоза всех ТКО. Упрощенный расчет применим для группы мусоровозов с однородными техническими характеристиками навесного оборудования и шасси при сборе ТКО из несменяемых сборников.

Суточное количество рейсов вычисляется по грузоподъемности или емкости техники и округляется до целого значения в большую сторону:

$$n_{сутj} = \frac{\sum M_{ТКОi}^{сут}}{b_j}, \text{ сут}^{-1};$$

или

$$n_{сутj} = \frac{\sum V_{ТКОi}^{сут}}{b_j}, \text{ сут}^{-1},$$

где  $b_j$  – производительность (грузоподъемность или емкость)  $j$ -й единицы техники, используемой для транспортирования ТКО до объекта обращения, т (или  $\text{м}^3$ ).

В числителе формулы суммируются массовые или объемные нормативы накопления ТКО от объектов, для которых возможно использование несменяемых контейнеров ТКО.

В случае если используются сменяемые контейнеры или бункеры для КГО, необходимое суточное количество рейсов определяется исходя из общего количества несменяемых контейнеров по отношению к периодичности их вывоза.

При расчете количества рейсов уточняется количество задействованных в транспортировании единиц техники с учетом максимального количества рейсов одного мусоровоза в сутки

$$K_{MBj} = \frac{n_{сутj}}{n_0 \cdot k_{исп}},$$

где  $n_0$  – максимальное количество рейсов в сутки для одного мусоровоза, сут<sup>-1</sup>;

$k_{исп}$  – коэффициент использования мусоровозов в парке. Коэффициент варьируется в интервале 0,7-0,9.

$K_{MB}$  также округляется до целого значения в большую сторону.

### 2.3. Практическое задание

Рассчитать объем и количество контейнеров для каждого объекта образования ТКО, кроме улиц. Определить площади контейнерных площадок для объектов образования ТКО. Определить требуемое количество мусоровозов, необходимое для транспортирования ТКО до объекта их размещения.

За исходные данные необходимо взять значения валовых и суточных нормативов накопления ТКО, полученные при выполнении первого практического задания, а также данные из таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры организации вывоза ТКО

| Параметр                                                               | Значение                 |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Расстояние от района загрузки мусоровоза до объекта размещения ТКО, км | 180                      |
| Количество поездок для 1 единицы техники:                              |                          |
| на расстояние более 100 км                                             | не более 8 раз за смену  |
| на расстояние от 40 до 100 км                                          | не более 10 раз за смену |
| на расстояние до 40 км                                                 | не более 14 раз за смену |

Коэффициент заполнения контейнеров при расчете принимать 0,9.

### **3. МУСОРОПЕРЕГРУЗОЧНЫЕ СТАНЦИИ И ЗАВОДЫ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ОТХОДОВ**

#### **3.1. Мусороперегрузочные станции**

Как уже отмечалось ранее, существует две маршрутные системы транспортирования ТКО. Одноэтапная, или прямая, система подразумевает транспортирование ТКО мусоровозом от контейнерной или специальной площадки сразу до объекта размещения отходов. Двухэтапная система включает доставку ТКО до мусороперегрузочных станций (МПС), объектов обработки, утилизации, обезвреживания ТКО и последующее транспортирование укрупненных партий ТКО или вторичных отходов от обработки ТКО и ресурсов до иных объектов обращения (чаще всего – объектов размещения отходов и объектов утилизации вторичных ресурсов) [20].

Мусороперегрузочная станция (или станция перегрузки отходов – СПО) – это специально оборудованный объект для перегрузки ТКО из мусоровозов в специализированную технику, имеющую более высокую грузоподъемность по отношению к мусоровозу, собирающему ТКО с контейнерных площадок.

Применение МПС вызвано, в первую очередь, необходимостью уменьшения объема ТКО для дальнейшего транспортирования [23, 24].

МПС классифицируют:

- по типу используемого оборудования (механические, полуавтоматические, автоматические);
- по исполнению (одноуровневые и двухуровневые);
- по производительности (малые – до 50 т/сут, средние – до 150 т/сут, крупные – более 150 т/сут).

МПС представляет собой совокупность рабочих и вспомогательных площадок, разделенных по функциональному назначению на хозяйственную и производственную зоны.

Производственная зона, как правило, оборудована навесом и включает участки разгрузки, уплотнения/прессования и загрузки ТКО, которые могут быть пространственно разделены или объединены в непрерывную технологическую линию.

В хозяйственной зоне могут располагаться следующие вспомогательные сооружения и оборудование:

- контрольно-пропускной пункт (КПП);
- весовая зона;
- дезинфекционные барьеры;
- гараж или навес для техники;
- локальные очистные сооружения дождевых сточных вод;
- емкость для сбора очищенных сточных вод;
- пожарные резервуары для наружного и внутреннего пожаротушения;
- энергоснабжающее оборудование и др.

Поскольку в определении понятия «обработка» в качестве примеров такой деятельности перечислены разборка, сортировка и очистка отходов перед их утилизацией, отнесение деятельности по перегрузке и прессованию ТКО в пресс-

компакторах к обработке отходов не очевидно. Однако по государственным стандартам РФ уплотнение отходов является разновидностью их механической обработки [1, 23].

Одновременно природопользователи при эксплуатации зданий, сооружений и иных объектов, связанных с обращением с отходами, обязаны соблюдать федеральные нормы и правила и иные требования в области обращения с отходами и обеспечивать соответствие промышленной площадки санитарным требованиям. Условия и способы обращения с отходами на МПС должны быть безопасными для здоровья населения и среды обитания, поэтому при организации такого объекта целесообразно руководствоваться теми же обязательными требованиями, которые предъявляются к объектам обработки ТКО [1, 18, 25].

В этом случае на въезде на территорию станции должен выполняться весовой и радиационный контроль. Взвешивание мусоровозов производится на платформенных весах до и после выгрузки отходов. МПС также оборудуется системами фото- и видеофиксации движения транспортных средств, доставляющих и вывозящих отходы, что в совокупности позволяет получать, обрабатывать и поставлять данные о количестве ТКО в государственную систему учета отходов. Информационная система объекта может быть автоматизированной.

Дезинфекционные барьеры представляют собой специальные кюветы, предназначенные для дезинфекции колес (а в некоторых случаях также днища и бортов) мусоровозов на въезде и выезде с территории МПС. Кювета заполнена лизолом, вирицидом, гуанидинсодержащими дезинфицирующими средствами или растворами хлорной извести, гипохлорита кальция, гипохлорита натрия.

Разгрузка отходов на территории мусоропрегрузочной станции осуществляется либо путем свала отходов на площадку (одноуровневая МПС) либо непосредственно в бункер-приёмник (двухуровневая МПС), как показано на рисунке 3.1. В первом случае отходы перегружаются с площадки в бункер-приёмник или непосредственно в бункер транспортного мусоровоза с использованием фронтальных погрузчиков. Бункер транспортного мусоровоза перемещается на шасси с помощью мультилифта для дальнейшего транспортирования ТКО на объект размещения. Мультилифт представляет собой погрузочно-разгрузочный механизм с гидравлическим приводом и крюковым захватным устройством.

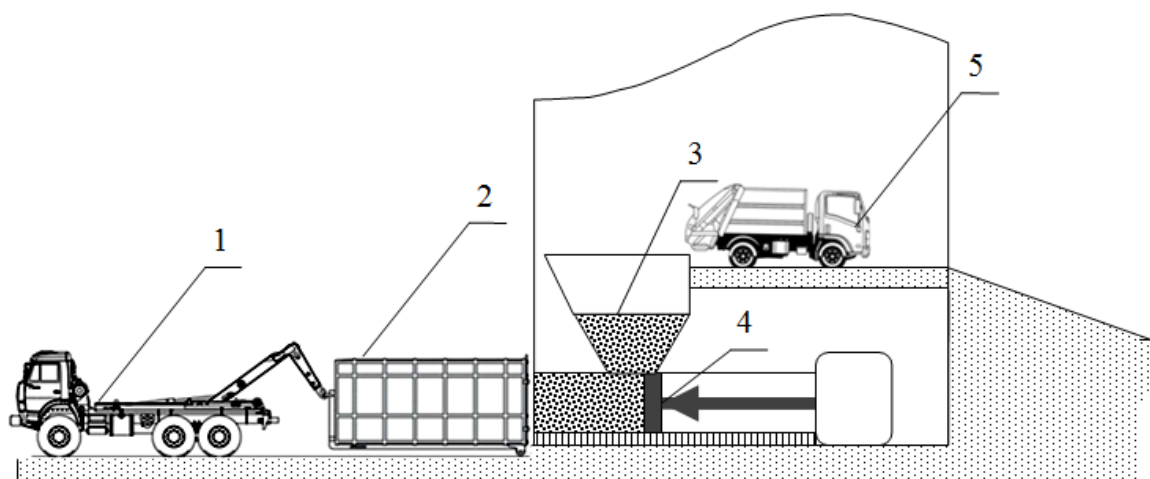


Рисунок 3.1 – Схема двухуровневой МПС:

- 1 – транспортный мусоровоз с мультифлифом; 2 – бункер транспортного мусоровоза; 3 – бункер-приёмник; 4 – прессовое оборудование; 5 – собирающий мусоровоз

Уплотнение отходов может происходить как в самом бункере транспортного мусоровоза (контейнерное прессование), так и в специальном прессовом оборудовании перед загрузкой в транспортный мусоровоз (вертикальное, горизонтальное прессование).

Уплотнение ТКО приводит к следующим положительным эффектам:

- уменьшение объема отходов и количества мусоровозов;
- уменьшение выбросов в атмосферный воздух при перевозке отходов;
- уменьшение занимаемой отходами площади на ОРО;
- снижение пожароопасности отходов на ОРО;
- снижение проницаемости отходов и повышение устойчивости отходов к внешним воздействиям;
- снижение количества фильтрата на ОРО [23, 26].

В зависимости от задач МПС, задается различная степень уплотнения ТКО. Коэффициент уплотнения при контейнерном прессовании варьируется от 2 до 7 единиц в зависимости от механизма сжатия. При степени уплотнения 4-5 плотность ТКО увеличивается до 800-1000 кг/м<sup>3</sup>, что значительно удешевляет и ускоряет процесс транспортирования. Важно учитывать, что при транспортировании ТКО запрещается их уплотнение сверх предельно допустимого значения уплотнения, установленного договором на оказание услуг.

Для уплотнения больших объёмов ТКО с коэффициентом уплотнения 5-10 обычно используется стационарное вертикальное прессовое оборудование.

Уплотнение отходов до плотности 1200-1400 кг/м<sup>3</sup> приводит к удалению 80-90 % влаги и повышению калорийности ТКО для их последующего сжигания (термического обезвреживания), а также к снижению доступа кислорода в массу отходов, что препятствует метаногенезу. Горизонтальное прессовое оборудование обеспечивает большую силу сжатия отходов.

Для прессования кусковых отходов используют стационарные гидравлические прессы и мобильные прессы (компакторы, моноблоки). Стационарные прессы используют, если требуемая производительность по отходам составляет не менее 20 м<sup>3</sup>/сут. Применяют канальные (удельное давление прессования 5-80 МПа), штемпельные (удельное давление прессования до 100 МПа), вальцовые, шнековые и кольцевые конструкции прессов.

При уплотнении ТКО важнейшей задачей является правильный выбор режима прессования, который зависит от морфологического состава отходов, влажности, содержания органических веществ и других фактов.

Основные критерии выбора прессы:

- компрессионные свойства преобладающих в отходе компонентов;
- суточная и часовая производительности;
- требуемые плотность, масса и размер блоков;
- мощность сети;
- габаритные размеры.

Под компрессионными свойствами подразумевается способность отходов изменять плотность в зависимости от приложенного удельного давления. Компрессионная способность отходов зависит от морфологического и фракционного состава, величины приложенного давления, а также влажности отходов. Необходимое удельное давление прессования обычно находится в обратной зависимости от влажности материала. Компрессионные характеристики ТКО при значениях влажности 37, 42 и 53 % могут быть приблизительно оценены по приведенному ниже графику (рис. 3.2).

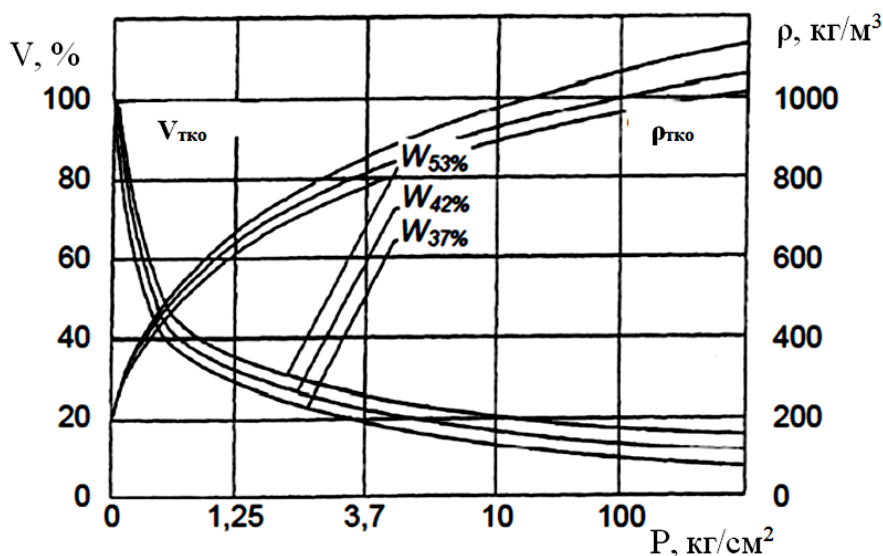


Рисунок 3.2 – Компрессионные характеристики ТКО [26]:

$P$  – удельное давление прессы;  $V_{\text{ТКО}}$  – объем образца ТКО;  $\rho_{\text{ТКО}}$  – плотность ТКО;  $W_{\%}$  – влажность образцов

На графике видно, что удельное давление прессы в 4 кгс/см<sup>2</sup> (400 кПа) обеспечивает достижение плотности 800 кг/м<sup>3</sup> для отходов влажностью порядка

50 %, что связано с интенсивным удалением из ТКО влаги. При удельном давлении более 100 кгс/см<sup>2</sup> (около 10 МПа) плотность возрастает до 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Уплотнение ТКО для транспортирования на ОРО проводится в интервале давлений 0,25-1 МПа [4, 26].

Отдельной проблемой при эксплуатации МПС является образование фильтрата при прессовании отходов. В фильтрате в значительных количествах присутствуют опасные органические и неорганические соединения (сульфаты, хлориды, железо, аммонийные соединения, органические кислоты и др.), а также возбудители инфекционных заболеваний. Наиболее распространенным способом обращения с фильтратом является его сброс в систему канализования с последующей очисткой на очистных сооружениях. На некоторых МПС применяется технология нейтрализации фильтрата смешением с золой с последующей иммобилизацией, например, в цементную матрицу [27].

Для крупногабаритных ТКО (мебель, деревянная тара и т.п.) на территории МПС может быть предусмотрена специальная дробилка – «шредер». Измельчение ТКО, как и их уплотнение, является разновидностью механической обработки отходов [23].

### 3.2. Мусороперерабатывающие заводы

При выборе технологических решений в области обращения с уже образовавшимися твердыми коммунальными отходами должна обеспечиваться их приоритетность в следующей последовательности:

1. Обработка ТКО в целях выделения из их состава видов отходов, пригодных для дальнейшей утилизации.
2. Утилизация видов отходов, выделенных из состава ТКО при обработке, с использованием их потенциала материального ресурса.
3. Утилизация видов отходов, выделенных из состава ТКО при обработке, с использованием их потенциала энергетического ресурса.
4. Обезвреживание ТКО.
5. Захоронение ТКО [24].

Таким образом, предпочтительным направлением обращения с ТКО является их комплексная обработка с последующей покомпонентной утилизацией.

*Утилизация отходов* – это использование отходов для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг, включая повторное применение отходов, в том числе их рециклинг, регенерация и рекуперация, а также энергетическая утилизация ТКО.

Повторное применение отходов по прямому назначению называется рециклингом, их возврат в производственный цикл после соответствующей подготовки – регенерацией, извлечение полезных компонентов для их повторного применения – рекуперацией. Энергетической утилизацией называется использование ТКО в качестве возобновляемого источника энергии (вторичных энергетических ресурсов-ВЭР) после извлечения из них полезных компонентов на объектах обработки [1].

Компоненты, извлеченные из ТКО на стадии сортировки (обработки), могут быть подвергнуты как рекуперации, так и регенерации или энергетической утилизации. Некоторые фракции, образующиеся в результате обработки ТКО, далее поступают на обезвреживание.

Исходя из этого, различают несколько типов мусороперерабатывающих заводов (МПЗ):

- мусоросортировочные комплексы (МСК), реализующие только обработку ТКО и формирование оптимальных транспортных потоков обработанных отходов на объекты утилизации, обезвреживания, размещения;
- заводы комплексной переработки коммунальных отходов (КПО) и механо-биологической переработки отходов (МБПО) – «ленинградская» схема обращения с ТКО;
- мусоросжигательные заводы (МСЗ), производящие тепловую энергию путем сжигания ТКО – «московская» схема обращения с ТКО;
- экотехнопарки, объединяющие операции по обращению с ТКО (обработку, утилизацию, обезвреживание), научную, исследовательскую и/или образовательную деятельность в данной сфере.

Функционирование МСЗ связано с рядом специфических операций и рассмотрено во 2-й части настоящего учебного пособия. Прочие мусороперерабатывающие заводы в обязательном порядке реализуют стадию обработки ТКО.

Цикл работы МПЗ может включать этапы, указанные в блок-схеме (рис. 3.3).

При поступлении отходов на территорию МПЗ выполняется весовой и радиационный контроль. Под радиационным контролем подразумевается комплекс мероприятий и мер, направленных на предотвращение и подавление возможного радиационного воздействия отходов на население и персонал.

ТКО поступают в приёмное отделение, которое представляет собой открытую или закрытую бетонированную площадку. На современных предприятиях чаще проектируют закрытые приёмные отделения, оборудованные разгрузочным пандусом и несколькими шлюзами, через которые могут одновременно разгружаться несколько мусоровозов.



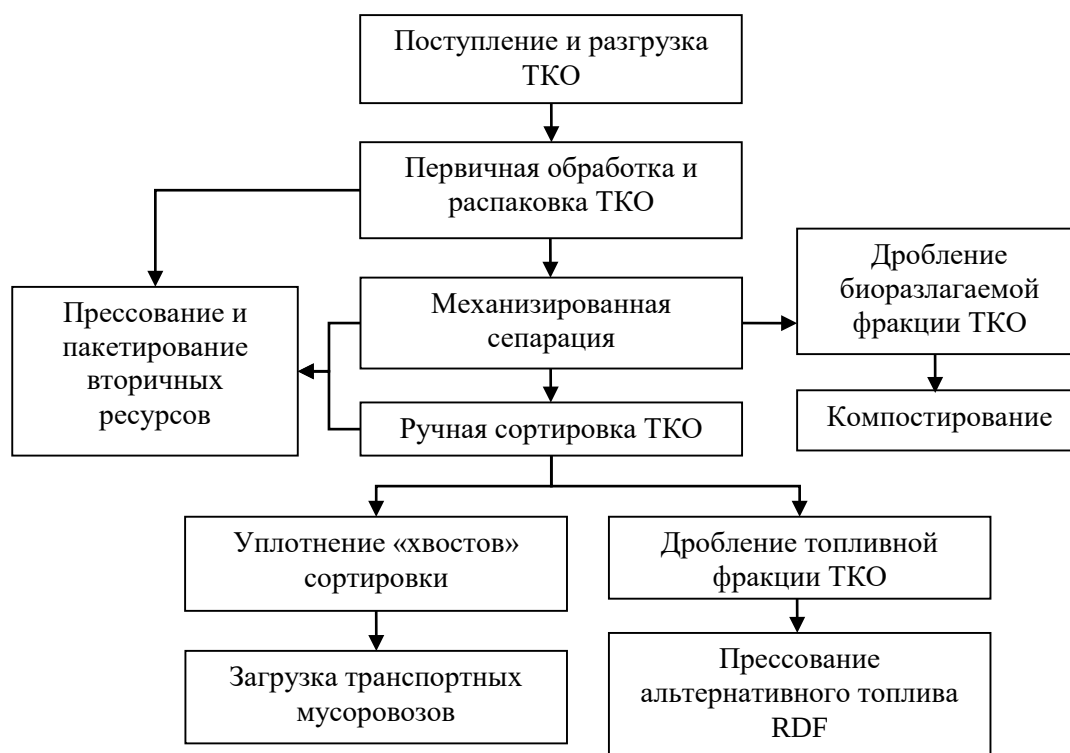


Рисунок 3.3 – Этапы переработки ТКО на МПЗ

Габариты приёмного отделения определяются с учетом количества поступающих отходов, числа технологических линий, высоты основного цеха, распределения потоков ТКО (смешанные, дуальные, крупногабаритные).

В приёмном отделении осуществляется первичная обработка ТКО: отбор КГО и длинномерных компонентов (из текстиля, плёнок и картона), удаление компонентов, не относящихся к ТКО (например, шин и покрышек). Далее отходы с помощью фронтального погрузчика и манипулятора с грейферным захватом загружаются на конвейерную ленту и подаются на распаковку.

Как правило, отходы приходят в пакетах, что затрудняет процедуру их сортировки. Поэтому используются специализированные бункеры «разрыватели пакетов», в которых упаковка рвётся и масса отходов разрыхляется.

Для разрыва пакетов существует несколько конструктивных исполнений машин:

- с барабанными и стационарными ножами;
- с качающимися ножами;
- с билами (резцами, установленными на валах).

Обработка ТКО осуществляется в несколько этапов, первым из которых является механизированная сепарация. Основной целью сепарации является разделение смешанных ТКО на однородные составляющие.

В зависимости от назначения в схеме обработки ТКО и принципов работ выделяют следующие основные виды сепараторов:

- грохоты;

- магнитные сепараторы;
- динамические сепараторы;
- баллистические сепараторы;
- оптические сепараторы;
- вихрековые сепараторы;
- воздушные классификаторы.

Для снижения энергетических и трудовых затрат, а также для повышения эффективности сортировки, ТКО разделяются на 2-3 потока по классам крупности – подвергаются грохочению. Грохочение осуществляется с помощью барабанных, вибрационных, роликовых грохотов.

Эффективность грохочения характеризуется отношением фактической массы подрешетного (нижнего) продукта грохота к общей массе подрешетного продукта в исходном материале:

$$\eta_{гр} = M_{ниж} / M_{ниж}^0,$$

где  $M_{ниж}$  – фактическая масса подрешетного продукта грохота, т;

$M_{ниж}^0$  – суммарная масса частиц размером менее диаметра отверстий грохота в исходном материале, т [23].

На эффективность грохочения отходов влияют их состав и свойства, размер отверстий и конструкция грохота, режим работы грохота. Наличие текстиля, пленочных компонентов и высокая влажность ТКО снижают эффективность грохочения. Повысить эффективность грохочения можно путем уменьшения толщины слоя загружаемого на грохот материала.

Наиболее распространены в схемах сепарации ТКО вибрационные и барабанные грохоты – троммели (рис. 3.4).

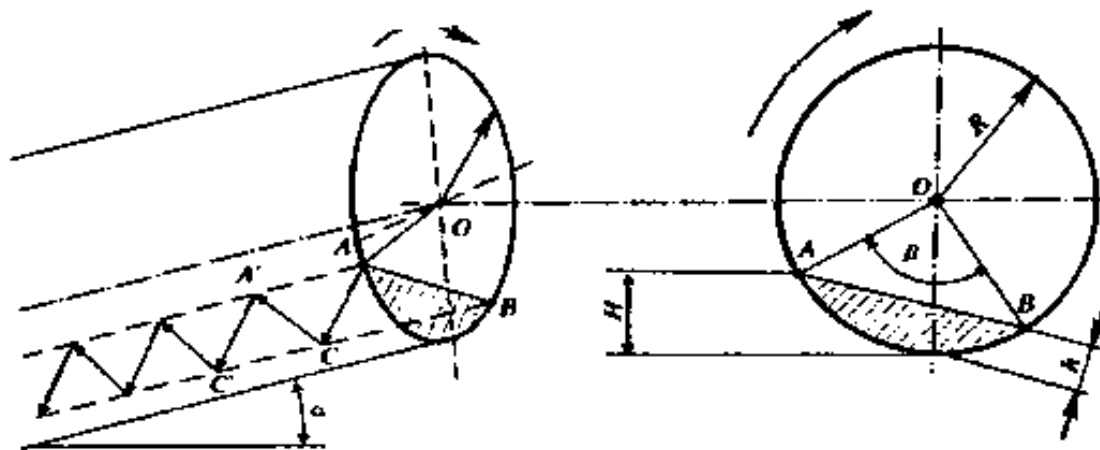


Рисунок 3.4 – Схема движения материала в барабанном грохоте [28]:

$R$  – радиус барабана, м;  $H$  – высота подъема материала, м;  $h$  – толщина сегментного слоя отходов, м;  $\alpha$  – угол наклона барабана относительно горизонтали;  $\beta$  – угол отрыва

Как показано на рисунке 3.4, отход загружается внутрь вращающегося барабана и попадает на просеивающую поверхность. Куски отхода под действием сил трения увлекаются внутренней поверхностью вращающегося барабана и поднимаются на высоту  $H$  над нижней образующей. После того как

поверхность АВ занимает положение плоскости естественного откоса, куски скатываются по этой поверхности и, за счет наклона барабана, перемещаются по траектории АС, продвигаясь вниз к разгрузочному концу барабана [28, 29].

При выборе барабанных грохотов необходимо учитывать, что внутренний диаметр барабана должен не менее чем в 8-14 раз превышать максимальный размер фрагментов загружаемого материала. Барабанные грохоты, используемые на МПЗ, обычно имеют размер отверстий 60, 80, 100, 250 или 300 мм. При разделении на три класса крупности подрешетная фракция обычно имеет размер менее 60-80 мм, а средняя – до 250-300 мм. При разделении на два потока – подрешетная фракция не превышает 100-250 мм. Средняя эффективность грохочения составляет 0,82.

Стадии грохочения нередко предшествует сортировка ТКО в отделителе текстиля – «тряпкоотделителе», поскольку барабанный грохот забивается текстилем в течение нескольких смен и перестает функционировать как сортирующее устройство. Применение вибрационных грохотов отчасти позволяет решить данную проблему.

Все фракции, прошедшие стадию грохочения, направляются на магнитную сепарацию.

Магнитные методы сепарации используются для отделения парамагнитных (слабомагнитных) и ферромагнитных (сильномагнитных) компонентов ТКО. Сильномагнитными свойствами обладают железо и его сплавы, слабомагнитными – оксиды железа после их обжига и некоторые другие вещества. Ряд оксидов, гидроксидов и карбонатов железа, марганца, хрома и редких металлов относятся к материалам со слабомагнитными свойствами [29].

Существует несколько классификаций магнитных сепараторов, используемых для разделения отходов.

*Классификация по конструкции:* подвесные железоотделители, электромагнитные шайбы, электромагнитные шкивы, электромагнитные барабаны, электромагнитные сепараторы, мобильные электромагнитные установки.

*Классификация по типу магнитного наконечника:* электромагнитные и на постоянных магнитах.

*Классификация по напряженности магнитного поля:* слабомагнитные материалы обогащают в сильных магнитных полях (напряженностью 800-1600 кА/м), сильномагнитные – в слабых полях (70-160 кА/м).

В магнитных сепараторах неоднородность магнитного поля создается полюсными наконечниками различной формы. Принципы разделения отходов в магнитном сепараторе показаны на рисунке 3.5.

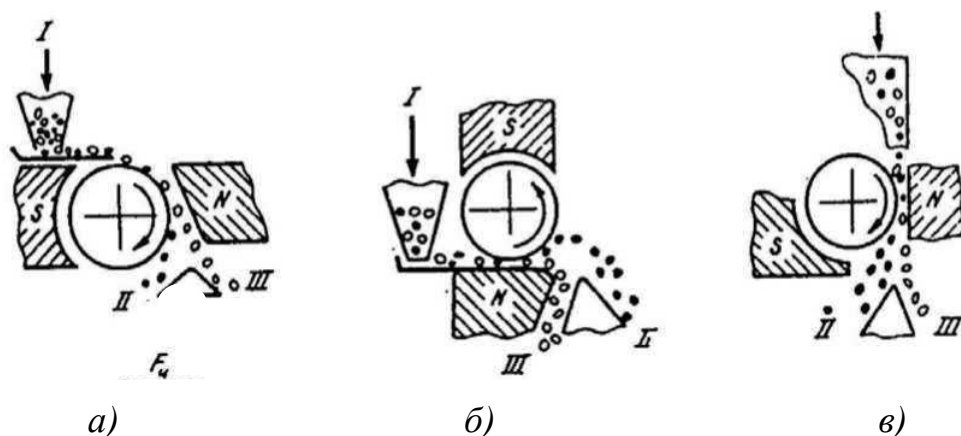


Рисунок 3.5 – Принципы разделения материалов в магнитном сепараторе:  
*а* – верхняя подача; *б* – нижняя подача; *в* – вертикальная подача;  
*I* – смешанный отход; *II* – магнитная фракция отхода; *III* – немагнитная фракция отхода

Ферромагнитными компонентами ТКО являются изделия из черных металлов, консервная тара и подобные им изделия, которые эффективно извлекаются в слабом магнитном поле напряженностью 90-120 кА/м. Поэтому для магнитной сепарации ТКО применяют в основном подвесные электромагнитные сепараторы-железоотделители (ПС), шкивные сепараторы (ШС) и барабанные сепараторы (БС). Последний изображен на рисунке 3.6.

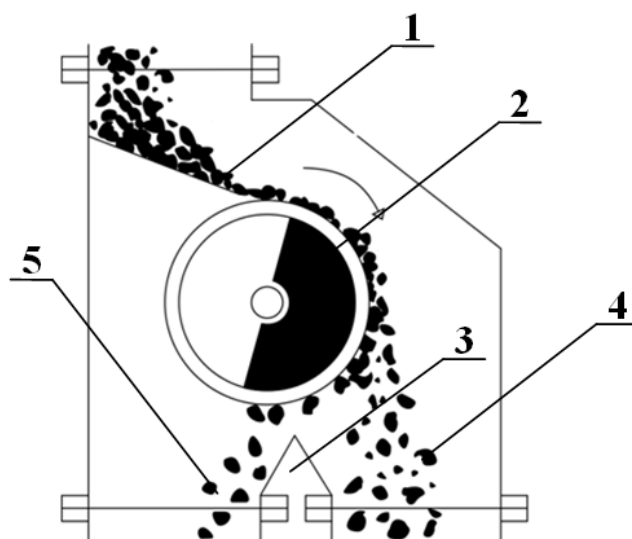


Рисунок 3.6 – Схема установки барабанного магнитного сепаратора с подачей отходов на барабан:  
*1* – вибропитатель; *2* – магнитный барабан; *3* – отсекаль (из немагнитного материала); *4* – немагнитный продукт; *5* – магнитный продукт

Устанавливают барабанный сепаратор таким образом, чтобы поток отходов поступал или непосредственно на барабан или под барабан. Для

повышения эффективности сепарации материал к барабану подают тонким слоем с помощью вибропитателя.

Шкивный сепаратор изображен на рисунке 3.7.

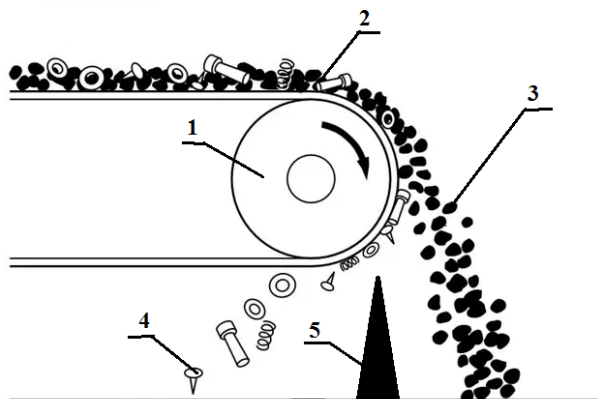


Рисунок. 3.7 – Схема шкивного магнитного сепаратора:

1 – электромагнитный шкив; 2 – смешанные отходы; 3 – немагнитный продукт; 4 – магнитный продукт; 5 – отсекающий (из немагнитного материала)

Практика показывает, что при извлечении черных металлов из массы ТКО в магнитный продукт попадают немагнитные примеси (макулатура, текстиль, полимерная пленка и др.), поэтому в технологической схеме обычно предусматривают повторную сортировку магнитного продукта для освобождения от неметаллических включений.

Подрешетная фракция при двухпоточном грохочении также может пройти обработку в роторном сепараторе, который является разновидностью динамических сепараторов. Роторный сепаратор предназначен для отсева наиболее мелкой и тяжелой фракции ТКО при перемещении отхода по вращающимся дискам [23].

Крупная и средняя фракции ТКО проходят многоступенчатую механическую сортировку в

- электродинамическом (вихретоковом) сепараторе цветных металлов;
- оптическом сепараторе полимеров и стекла;
- аэросепараторе макулатуры;
- баллистическом сепараторе объемных (тара) и плоских (пленки, картон) компонентов и др.

Перемещение фракций отходов между технологическим оборудованием осуществляется с помощью конвейеров.

Несмотря на совершенствование технологий, ручная сортировка остается востребованным вариантом разделения ТКО.

Ручную сортировку ТКО производят с ленты горизонтального тихоходного конвейера или замкнутого сортировочного конвейера, расположенных в климатической кабине. Ширина ленты обычно – не более 1200 мм, оптимальная скорость – 0,1- 0,2 м/с. Посты ручного отбора оборудуются с двух сторон конвейера и оснащаются системами местного усиленного

освещения, пылеподавления и кондиционирования воздуха. Под сортировочным конвейером располагаются отводящие конвейеры для удаления неликвидных фракций и конвейеры-дозаторы для перемещения извлеченных работниками вторичных ресурсов на следующую стадию обработки.

Ручной сортировке обычно подвергается крупнокусковой материал и поток средней фракции. В таблице 3.1 приведены сведения о производительности и эффективности ручной сортировки ТКО по отечественным данным и сведениям Международной ассоциации по твердым отходам [28, 29].

Таблица 3.1 – Практические сведения о производительности и эффективности ручной сортировки ТКО (по готовой продукции)

| №<br>п/п | Вид материала                                           | Производительность, кг/ч<br>на одного рабочего | Эффективность<br>извлечения, % |
|----------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
| 1        | Бумага и картон <sup>1</sup>                            | 700-4500                                       | 60-95                          |
| 2        | Стеклотара (без сортировки по цвету) <sup>2</sup>       | 400-800                                        | 70-95                          |
| 3        | Пластмассовая тара и упаковка (ПЭТФ, ПЭВД) <sup>2</sup> | 140-280                                        | 80-95                          |
| 4        | Алюминиевые банки <sup>2</sup>                          | 45-55                                          | 80-95                          |

<sup>1</sup> Извлечение из потока, преимущественно содержащего 1 или 2 вида макулатуры.

<sup>2</sup> Извлечение из потока, преимущественно содержащего металл, стекло и пластмассу.

Эффективность ручной сортировки во многом зависит от организации стадий сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов. Селективный сбор отдельных компонентов, дуальный сбор, разделение потоков отходов от жилых домов и от нежилых (офисных и бытовых) помещений значительно упрощает и удешевляет стадию их сортировки и повышает ее эффективность. Важно отметить, что элементы ручной сортировки включены за рубежом в большинство схем комплексной переработки ТКО.

Полностью автоматическая сортировка предусматривает минимизацию участия персонала в технологическом процессе. При этом происходит замена постов ручной сортировки роботами с искусственным интеллектом (ИИ).

По мере увеличения срока использования роботов возрастает и эффективность сортировки, т.к. непрерывно происходит обучение ИИ. Процесс выхода на полную мощность, когда роботы не ошибаются в распознавании и выделяют из потока ТКО максимальное количество вторичных материальных ресурсов, занимает в среднем 2–3 месяца. При этом извлекать с сортировочного конвейера базовые фракции (например, тару) роботы начинают уже с первых дней запуска.

ИИ возможно натренировать на идентификацию более чем 40 компонентов, отличающихся не только по составу, но также по цветам и видам (например, бутылки из полиэтилентерефталата прозрачные, коричневые, голубые, зеленые и микс цвета, ПЭТ из-под масла, молочный ПЭТ и др.). Это

целесообразно при наличии потребителей, выполняющих утилизацию соответствующей фракции ТКО – объектов утилизации [30].

Объекты утилизации ТКО предназначены для производства продукции, в том числе вторичного сырья, удобрений органических, почвогрунта или грунта, пригодного для технических целей, твердого топлива, из видов отходов, полученных при обработке ТКО [24].

Таким образом, одним из направлений утилизации ТКО является производство твердого вторичного топлива – RDF (refuse derived fuel).

RDF получают из высококалорийных компонентов ТКО, непригодных из-за размера частиц, загрязненности, цвета или иных характеристик для регенерации и рекуперации: синтетических полимеров, бумаги, картона, текстиля, резины, кожи, древесины (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Ориентировочный состав сырья для получения RDF из отходов [31]

| Наименование компонента | Массовая доля компонента, % |
|-------------------------|-----------------------------|
| Древесные отходы        | 25                          |
| Бумага, картон          | 15                          |
| Синтетические полимеры  | 60                          |
| Отходы резиносодержащие | 15                          |
| Текстиль                | 10                          |
| Кожа                    | 5                           |

Высококалорийную фракцию ТКО после грохочения и ручной сортировки измельчают до размера 20-25 мм, сушат и прессуют в топливные гранулы (пеллеты). Данная разновидность прессования называется брикетировочным.

Для дробления ТКО используются щековые, конусные, валковые и роторные дробилки. При измельчении компонентов RDF применяются преимущественно роторно-ножевые дробилки.

Низшая теплота сгорания гранул RDF варьируется от 5,5 МДж/кг до 20 МДж/кг, что обуславливает возможность его использования в качестве основного или вспомогательного топлива в печах цементных и металлургических заводов, котлах теплоэлектроцентралей и др. [23, 30].

Вторичные ресурсы и остатки сортировки ТКО, непригодные для утилизации, перечислены в блоке 7 ФККО, подтип 41 «Отходы при обработке отходов для получения вторичного сырья». Остатки сортировки иначе называют «хвостами» сортировки ТКО [4].

Вторичные ресурсы и остатки сортировки с целью подготовки к транспортированию подвергают прессованию.

Полимерные отходы пакетируются – уплотняются и связываются в кипы с помощью полимерной или проволоочной обвязки [23].

Важным требованием в области обращения с ТКО является запрет на прием на объекты утилизации ТКО, не прошедших обработку (за исключением ТКО, сбор и накопление которых был реализован отдельно) [24].

Примерный состав остатков сортировки ТКО приведен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Ориентировочный состав остатков сортировки ТКО

| Компонент                     | Массовая доля компонента, % |                      |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------|
|                               | при смешанном сборе         | при раздельном сборе |
| Синтетические полимеры        | 43,4                        | 52,7                 |
| Бумага и картон               | 15,3                        | 13,5                 |
| Пищевые отходы                | 14,7                        | 4,7                  |
| Текстиль                      | 10,5                        | 3,2                  |
| Стекло                        | 0,8                         | 4,2                  |
| Черные и цветные металлы      | 1,8                         | 4,7                  |
| Древесина                     | 6,3                         | 1,3                  |
| Камни, штукатурка             | 4,5                         | 5,2                  |
| Отходы, схожие с медицинскими | 0,9                         | 0,7                  |
| Отсев (менее 50 мм)           | 1,8                         | 9,8                  |

Влажность «хвостов» сортировки может варьироваться от 37 до 55 %.

Таким образом, при проектировании объектов обработки ТКО в составе инфраструктуры объекта помимо основного производственного корпуса необходимо предусмотреть

– административно-бытовой корпус (включая раздевалки и душевые, прачечную и сушилку для спецодежды, склад СИЗ и спецодежды, диспетчерские, столовую и другие административно-хозяйственные помещения);

- склад вторичных ресурсов;
- ремонтную зону транспортных средств;
- зону мойки спецтранспорта и контейнеров;
- стоянку спецтранспорта;
- пожарный резервуар;
- сооружения для энергоснабжения объекта;
- сооружения по очистке сточных вод и др.

### 3.3. Компостирование ТКО

Органические компоненты ТКО (пищевые отходы, растительные остатки, изделия из кожи и натуральных волокон и др.) обладают ресурсной ценностью и могут быть утилизированы – использованы для производства органических удобрений, питательных и техногенных грунтов.

*Питательный грунт* – многокомпонентная искусственная смесь, главным компонентом которой выступает компост, предназначенная для использования в садоводстве, растениеводстве, цветоводстве, лесном и городском хозяйствах для повышения плодородия почв.

*Техногенный грунт* – грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Подрешетный продукт грохочения (класс грохочения менее 250 мм) в основном состоит из пищевых отходов, и может быть преобразован с использованием управляемых механизированных биохимических процессов. Например, путем компостирования.



*Компостирование* – это процесс биохимической декомпозиции, трансформации, биостабилизации органических твердых отходов в контролируемых аэробных условиях в стабильный продукт, используемый для улучшения состава и свойств почвы.

В процессе компостирования температурный режим органической массы меняется с мезофильного (30-35 °С) до термофильного (60-65 °С) за счет выделения массой тепла. В мезофильной фазе источником тепла являются реакции разложения легкоокисляемых органических соединений, в термофильной фазе процесс продолжают термофильные бактерии.

Наиболее распространены два способа компостирования органической фракции ТКО: полевой одностадийный – в буртах на площадке созревания и промышленный двухстадийный – в механических устройствах (биотермических реакторах) с последующим дозреванием. Биотермические реакторы отличаются многообразием конструкций. Компостирование может выполняться в климатических камерах, перколяторах, барабанах, туннелях и др. [32].

Полевое компостирование является длительным и продолжается около 6 месяцев.

В схемах промышленного двухстадийного компостирования процесс декомпозиции ускоряется за счет принудительного аэрирования отходов на первой стадии.

При осуществлении тоннельного компостирования органическая фракция ТКО загружается в систему горизонтальных автономных полностью автоматизированных бетонных тоннелей. В тоннелях на протяжении 12-14 дней поддерживаются оптимальные параметры процесса компостирования (температура, влажность, аэрация). При этом масса отходов по сухому веществу сокращается примерно на 20 %. После завершения первой стадии масса перегружается в другие тоннели для дозревания. В процессе дозревания происходит высушивание компоста и продолжается распад органической массы. Продолжительность дозревания составляет 2-3 недели, при этом масса компоста уменьшается ещё на 25 %.

Климатическая камера для компостирования отходов представляет собой площадку с последовательно расположенными в один ряд бетонными ваннами U-образной формы, закрытыми мембраной. Мембрана для статического компостирования состоит из двух основных слоев, устойчивых к ультрафиолетовому излучению и воздействию влаги, и полупроницаемой мембраны. С помощью системы подачи воздуха под мембраной создается оптимальный для микроорганизмов микроклимат, способствующий интенсификации процесса компостирования. Процесс компостирования с использованием климатических камер длится 6-8 недель.

Другим распространенным техническим решением при компостировании органической фракции ТКО являются вращающиеся горизонтальные биобарабаны – биотермические барабаны (ББ). При использовании ББ снижается трудоемкость утилизации отходов, сокращается территория, занятая оборудованием [32].

На рисунке 3.7. изображена одна из применяемых двухстадийных схем компостирования органической фракции ТКО в ББ.

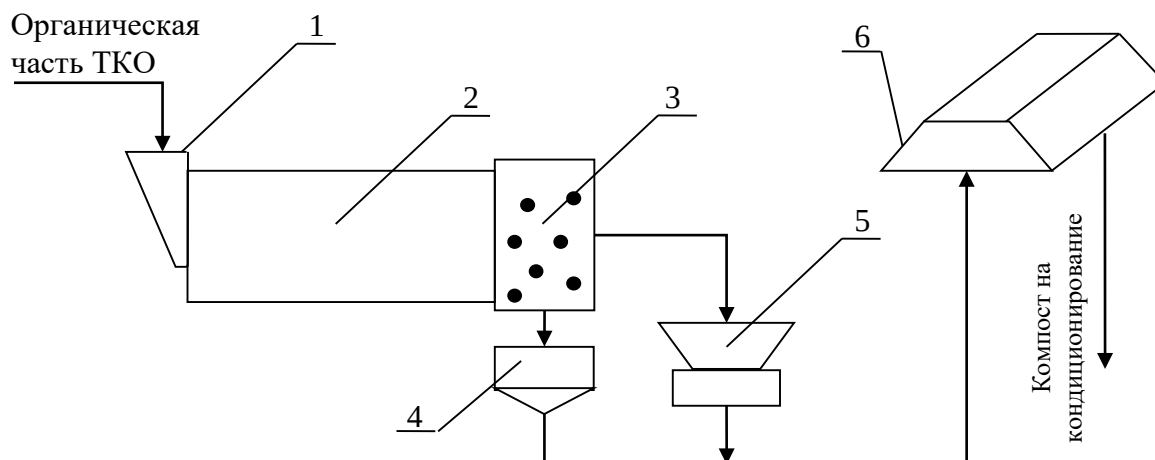


Рисунок 3.7 – Схема компостирования ТКО с использованием биотермического барабана:

1 – загрузочная воронка биотермического барабана; 2 – биотермический барабан; 3 – сортировочный узел; 4 – бункер мелкой фракции; 5 – дробилка для крупной фракции; 6 – площадка с буртами дозревания компоста

Биотермический барабан представляет собой горизонтальный вращающийся цилиндр, в который подается нагретый воздух. Для обеспечения принудительной аэрации на корпусе ББ устанавливаются вентиляторы. Диаметр барабана составляет 3-4 м, длина – 20-36 м. На внутренней поверхности барабана расположены ребра высотой 5-8 см [32-33].

Активность аэробных сапрофитных бактерий в ББ поддерживают за счет следующих параметров:

- значительная площадь удельной поверхности компостируемой массы;
- оптимальный режим аэрации компостируемой массы (расход воздуха 0,12-0,15 м<sup>3</sup>/кг);
- оптимальный уровень pH (6-7,5);
- оптимальная интенсивность перемешивания массы (частота вращения 1000-1500 об/сут);
- оптимальная влажность (45-55 %);
- оптимальный температурный режим.

Срок выдержки массы в биотермическом барабане варьируется от 8 ч до 3 сут.

После биотермического барабана свежий компост поступает в сортировочный узел. Мелкая фракция направляется на площадку дозревания сразу после классификации, крупная фракция дробится до крупности 6 мм и также направляется на площадку дозревания компоста.

Дозревание компоста осуществляется в буртах (штабелях) на специальной площадке с твердым покрытием или на складах дозревания. Площадка

оборудуется системой дренажа, системой естественной аэрации буртов и, в некоторых случаях, системой принудительного удаления и очистки выбросов от дурнопахнущих соединений (фенол, метилмеркаптан, сероводород, аммиак и др.). Для обеспечения равномерного созревания компост перемешивается специальной ворошильной машиной.

Дозревший компост выгружается автопогрузчиком и направляется на тонкую обработку (кондиционирование) для очистки от механических примесей и балластных фракций и финального просеивания [33].

Для возможности производства органических удобрений и питательных грунтов оборудование участка кондиционирования должно обеспечивать достижение следующих показателей:

- содержание полимерных пленок должно быть не более 0,8 %;
- содержание стекла (размером не более 10 мм) – не более 0,2 %; содержание частиц стекла большего размера не допускается;
- содержание прочих балластных включений – не более 2,5 %.

Для достижения требуемых параметров качества продукта применяются магнитные и вихретоковые сепараторы, динамические сепараторы, аэросепараторы и звездчатые просеиватели [32, 34].

Токсикологические, санитарные, гигиенические, агрохимические и механические показатели полученных в результате компостирования продуктов должны соответствовать требованиям национальных стандартов (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Показатели органических удобрений на основе ТКО [34]

| Наименование показателя                                                                                               | Ед.измерения | Значение                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------|
| Массовая доля токсичных примесей (не более):<br>кадмий<br>ртуть<br>мышьяк<br>никель<br>свинец<br>медь<br>хром<br>цинк | мг/кг        | 5,0<br>10,0<br>10,0<br>100,0<br>200,0<br>300,0<br>300,0<br>500,0 |
| Массовая остаточная концентрация пестицидов (не более):<br>ГХГЦ<br>ДДТ и метаболиты                                   | мг/кг        | 0,1<br>0,1                                                       |
| Индекс санитарно-показательных микроорганизмов:<br>колиформы<br>энтеробактерии                                        | кл/г         | 1-9<br>1-9                                                       |
| Наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов                                                                   | кл/г         | не допускается                                                   |
| Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, трематод, цестод                                                     | -            | не допускается                                                   |
| Цисты кишечных патогенных простейших                                                                                  | -            | не допускается                                                   |

Окончание табл. 3.4.

| Наименование показателя                                                                                       | Ед.измерения | Значение          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| Размер частиц (не более)                                                                                      | мм           | 25                |
| Массовая доля влаги (не более)                                                                                | %            | 50                |
| Массовая доля органического вещества на сухой продукт (не менее)                                              | %            | 45                |
| Массовая доля питательных элементов на рабочую массу (не менее):<br>азот общий<br>фосфор общий<br>калий общий | %            | 0,5<br>0,4<br>0,3 |

Однако даже с учетом обеспечения всех перечисленных выше показателей применение полученных из отходов органических удобрений и грунтов ограничено.

Компостирование применяется не только для утилизации, но и для обезвреживания ТКО. Полученный в результате обезвреживания ТКО материал подлежит последующему захоронению.

Выбор места расположения объектов обработки, обезвреживания, утилизации ТКО должен осуществляться с учетом схемы потоков твердых коммунальных отходов в соответствии с территориальной схемой обращения с отходами в целях обеспечения максимальной экономической эффективности их функционирования.

Технологические решения для объектов обезвреживания ТКО путем компостирования должны учитывать климатические условия и исключать прямое попадание продуктов компостирования в атмосферный воздух, на почву, в поверхностные и подземные воды [24].

### 3.4. Методика расчета завода КПО и МБПО

Упрощенный расчет завода КПО проводится в несколько этапов:

- 1) расчет приемно-разгрузочного отделения (ПРО);
- 2) расчет мусоросортировочного комплекса (МСК) (механизированной и ручной сортировки);
- 3) расчет биотермического барабана;
- 4) расчет площадки дозревания компоста.

1. Приемно-разгрузочное отделение включает в себя разгрузочные посты, площадки разгрузки ТКО, разрыватель пакетов, приемный бункер, грузоподъемное оборудование (мостовые краны с грейферными ковшами) и др.

Объекты обработки ТКО должны обеспечить прием и обработку среднесуточной массы твердых коммунальных отходов в сезон их максимального образования. Если данные по сезонам отсутствуют, расчет может быть выполнен исходя из среднегодовой производительности [24].

Расчетная суточная мощность приемно-разгрузочного отделения (максимальная производительность завода по приему ТКО) рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{ТКО}} \cdot k_{\text{нп}}}{\tau_{\text{пр}}}, \text{ т/сут},$$

где  $M_{\text{ТКО}}$  – производительность завода КПО по ТКО за расчетный период, т/год. В расчетах за производительность можно принимать среднегодовой норматив образования твердых коммунальных отходов от населенного пункта или отдельного района, если иное не предусмотрено заданием;

$k_{\text{нп}}$  – коэффициент неравномерности поступления ТКО в приемное отделение,  $k_{\text{н}} = 1,25$ ;

$\tau_{\text{пр}}$  – продолжительность расчетного периода, в течение которого ТКО максимально интенсивно поступают на завод, сут/год [35].

Необходимое число приемных постов

$$n_{\text{пп}} = \frac{M_{\text{пр}} \cdot t \cdot k_1}{m \cdot \tau_{\text{пп}}},$$

где  $t$  – продолжительность полного цикла разгрузки мусоровоза с учетом заезда и выезда с поста, ч;

$k_1$  – коэффициент неравномерности прибытия мусоровозов,  $k_1 = 1,5$ ;

$m$  – масса ТКО, перевозимых мусоровозом за 1 рейс, т;

$\tau_{\text{пп}}$  – продолжительность работы приемного поста, ч/сут [36].

Продолжительность работы приемного поста совпадает с продолжительностью работы всего приемно-разгрузочного отделения. Рекомендуется при расчетах принимать продолжительность работы в 1,5 смены по 8 ч (12 ч/сут) [26].

Полученное значение округляется до целого числа в большую сторону. Как правило, на один приемный бункер проектируется 1-2 приемных поста.

Доля крупногабаритных включений в массе ТКО, поступающих в приемно-разгрузочное отделение, обычно не превышает 5%. Эффективность ручного извлечения указанных фракций высока, но производительность крайне низкая и зависит от количества сотрудников отделения, интенсивности поступления отходов и других факторов. Поэтому для укрупненных расчетов рекомендуется не учитывать снижение массы поступающих в приёмный бункер ТКО за счет отбора КГО и длинномерных компонентов.

Поэтому требуемый суммарный объем приемных бункеров может быть определен по формуле:

$$V_{\text{п.б}} = \frac{M_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{нак}}}{\rho_{\text{ТКО}}' \cdot \eta_{\text{зап}}}, \text{ м}^3,$$

где  $\tau_{\text{нак}}$  – максимальная продолжительность накопления отходов в приемном бункере, сут;

$\rho_{\text{ТКО}}'$  – плотность ТКО, накапливаемых в бункере с учетом естественного уплотнения, т/м<sup>3</sup>;

$\eta_{\text{зап}}$  – коэффициент заполнения бункера,  $\eta_{\text{зап}} = 0,75-0,85$ .

Максимальная продолжительность накопления отходов в приемном бункере определяется исходя из практики функционирования заводов КПО и составляет 2-4 сут.

Для распаковки ТКО чаще всего используются разрыватели пакетов с барабанными или стационарными ножами. Эффективность распаковки составляет около 95 %, а производительность варьируется от 25 до 50 т/час. Выбор разрывателей пакетов осуществляется по требуемой производительности.

2. В мусоросортировочный комплекс обычно поступает вся масса ТКО, поступившая в приемно-разгрузочное отделение. В этом случае расчетная суточная производительность МСК определяется по формуле:

$$M_{\text{МСК}}^c = \frac{M_{\text{ТКО}} \cdot k_{\text{нп}}}{\tau_{\text{МСК}}}, \text{ т/сут},$$

где  $\tau_{\text{МСК}}$  – продолжительность расчетного периода, в течение которого ТКО поступают в мусоросортировочный комплекс, сут/год. При расчетах рекомендуется принимать продолжительность работы МСК 317 сут/год.

Современный рынок оборудования для мусоросортировочного комплекса предлагает линии сортировки отходов от 5 тыс. т/год до 300 тыс. т/год. При необходимости мощность МСК может быть увеличена за счет параллельного использования нескольких линий сортировки.

Необходимое количество линий сортировки в МСК рассчитывается исходя из количества рабочих смен по формуле:

$$n_{\text{МСК}} = \frac{M_{\text{МСК}}^c}{G_{\text{МСК}} \cdot \tau_{\text{см}}},$$

где  $\tau_{\text{см}}$  – суммарная продолжительность рабочих смен в сутки, ч/сут. При расчетах может быть использована продолжительность работы приемного поста (обычно – 1,5 или 2 смены);

$G_{\text{МСК}}$  – максимальная производительность одной механизированной линии сортировки, т/ч.

Количество линий сортировки округляется в большую сторону до ближайшего целого значения. Однако необходимо учитывать, что на объектах обработки ТКО мощностью свыше 150 тыс. т/год должно быть предусмотрено не менее 2 линий сортировки [24].

Рекомендуется при расчетах принимать максимальную производительность линии сортировки по каталогу готовых МСК или по производительности лимитирующего оборудования.

Данные для оценки пооперационной эффективности механизированной и ручной сортировки ТКО в МСК с максимальной производительностью 25 т/ч приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Характеристики продуктов, выделенных из исходных ТКО на стадиях отделения текстиля, грохочения и магнитной сепарации [37]

| Компонент                     | Выход извлекаемой фракции на различных стадиях сортировки<br>(от массы компонента, поступающего на стадию), % |                             |                    |                    |                    |                              |                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|----------------------|
|                               | отделение<br>текстиля                                                                                         | магнитная<br>сепарация<br>I | грохочение         |                    | аэро-<br>сепарация | магнитная<br>сепарация<br>II | ручная<br>сортировка |
|                               |                                                                                                               |                             | менее<br>250<br>мм | более<br>250<br>мм |                    |                              |                      |
| Бумага, картон                | 10                                                                                                            | 0,1                         | 50                 | 50                 | 80                 | 0,5                          | 5                    |
| Пищевые и растительные отходы | 1                                                                                                             | 0,1                         | 95                 | 5                  | -                  | 0,2                          | -                    |
| Черные металлы                | -                                                                                                             | 45                          | 100                | -                  | -                  | 97                           | -                    |
| Цветные металлы               | -                                                                                                             | -                           | 99,5               | 0,5                | -                  | -                            | 97                   |
| Текстиль                      | 70                                                                                                            | 0,5                         | 60                 | 40                 | 25                 | -                            | -                    |
| Стекло                        | -                                                                                                             | -                           | 97                 | 3                  | -                  | -                            | 90                   |
| Пластмассы                    | 40 <sup>1</sup>                                                                                               | 0,5                         | 70                 | 30                 | 92 <sup>1</sup>    | -                            | 2 <sup>2</sup>       |
| Кожа, резина                  | 2                                                                                                             | -                           | 70                 | 30                 | -                  | -                            | -                    |
| Древесина                     | 2                                                                                                             | -                           | 90                 | 10                 | -                  | -                            | -                    |
| Камни, керамика               | -                                                                                                             | -                           | 95                 | 5                  | -                  | -                            | -                    |
| Кости                         | -                                                                                                             | -                           | 95                 | 5                  | -                  | -                            | -                    |
| Прочее                        | 5                                                                                                             | 0,5                         | 90                 | 10                 | 40                 | -                            | -                    |
| Отсев (менее 15 мм)           | -                                                                                                             | -                           | 100                | -                  | -                  | -                            | -                    |

Примечания: 1 – преимущественно полимерная пленка, которая извлекается путем ручной досортировки с эффективностью 80 %;

2 – преимущественно полимерная тара [36].

По таблице 3.5 определяется масса ТКО, поступающих на каждую стадию сортировки, и масса компонентов, извлекаемых из ТКО на стадиях сортировки. Рекомендуется проводить расчеты суточного и часового выхода отдельных компонентов и остатка ТКО в целом для каждой стадии. Значения в графах «аэросепарация» и «магнитная сепарация II» приведены применительно к фракции грохочения менее 250 мм. Значения в графе «ручная сортировка» приведены применительно к фракции грохочения более 250 мм.

Магнитный сепаратор для линии сортировки выбирают по каталогу (Приложение 6).

Удельная производительность магнитного сепаратора определяется по следующей формуле:

$$q_{mc} = 0,82 \cdot \omega_{mc} \cdot \rho_{Me} \cdot \frac{d_1 - d_2}{\lg(d_1/d_2)} \cdot a \cdot b, \text{ т/(м} \cdot \text{с)},$$

где  $\omega_{mc}$  – скорость перемещения ТКО по конвейеру, м/с;

$\rho_{Me}$  – плотность извлекаемого металла, т/м<sup>3</sup>;

$d_1$  – наибольший диаметр извлекаемых металлических фрагментов, м;

$d_2$  – наименьший диаметр извлекаемых металлических фрагментов, м;

$a, b$  – эмпирические коэффициенты. Для ТКО принимать:  $a = 1, b = 1$ .

Необходимое количество головных барабанов магнитного сепаратора может быть определено по формуле:

$$n_{\text{мс}}' = \frac{M_{\text{мс}}^{\text{ч}}}{q_{\text{мс}} \cdot L_{\text{мс}}},$$

где  $q_{\text{мс}}$  – удельная часовая производительность магнитного сепаратора, т/(м·ч);  
 $n_{\text{мс}}$  – количество головных барабанов, валков или роликов в магнитном сепараторе;

$L_{\text{мс}}$  – рабочая длина барабана, валка или ролика магнитного сепаратора, м.

Количество головных барабанов округляется в большую сторону до ближайшего целого значения.

Производительность магнитного сепаратора зависит от большого набора факторов. Но для ориентировочного расчета может быть использована формула:

$$G_{\text{мс}} = q_{\text{мс}} \cdot n_{\text{мс}} \cdot L_{\text{мс}}, \text{ т/ч.}$$

Барабанный грохот выбирают по каталогу (Приложение 7) исходя из оптимальной производительности и максимального размера кусков загружаемых в него ТКО.

Под оптимальной производительностью грохота понимают его максимальную пропускную способность по исходному материалу при заданной эффективности грохочения.

Производительность барабанного грохота определяется по формуле:

$$G_{\text{гр}} = 600 \cdot \rho_{\text{ТКО}} \cdot \gamma \cdot v_{\text{гр}} \sqrt{R^3 \cdot h^3} \cdot \text{tg} 2\alpha, \text{ т/ч,}$$

где  $\rho_{\text{ТКО}}$  – плотность ТКО, поступающих на грохочение, т/м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – коэффициент разрыхления материала. Коэффициент разрыхления варьируется в интервале 0,2-0,4;

$v_{\text{гр}}$  – частота вращения барабанного грохота, об/мин;

$R$  – радиус барабана, м;

$h$  – толщина сегментного слоя материала (ТКО), м;

$\alpha$  – угол наклона грохота, град.

Частота вращения барабанного грохота принимается в пределах:

$$\text{от } v_{\text{гр}} = \left( \frac{13}{D_{\text{гр}}} \right) \text{ об/мин до } v_{\text{гр}} = \left( \frac{20}{\sqrt{D_{\text{гр}}}} \right) \text{ об/мин,}$$

где  $D_{\text{гр}}$  – диаметр барабана грохота, м.

Толщина сегментного слоя материала, находящегося в барабане грохота, не должна превышать двойного максимального размера кусков отхода

$$h \leq 2 \cdot d_{\text{max}}, \text{ м,}$$

где  $d_{\text{max}}$  – размер самого крупного фрагмента (куска) в массе ТКО, подаваемой в грохот, м [28].

Необходимое количество барабанных грохотов можно определить по формуле:

$$n_{\text{гр}} = \frac{M_{\text{т}}^{\text{ч}}}{G_{\text{гр}}},$$



где  $M_T^ч$  – количество ТКО, поступающих на стадию грохочения после тряпкоотделителя, т/ч.

Количество барабанных грохотов округляется в большую сторону до ближайшего целого значения.

Для стабильной работы производительность питающих агрегатов (транспортеров ТКО) должна быть на 10-15 % выше производительности обслуживаемого ими оборудования.

Материальный баланс мусоросортировочного комплекса может быть описан формулой:

$$M_{мск}^c = M_{черн}^c + M_{бум}^c + M_{цвет}^c + M_{ст}^c + M_{тар}^c + M_{пл}^c + M_{орг}^c + M_{ОРО}^c + M_{б.п.}^c, \text{ т/сут},$$

где  $M_{черн}^c$  – суточное количество извлекаемых из ТКО загрязненных черных металлов, т/сут;

$M_{бум}^c$  – суточное количество извлекаемых из ТКО отходов бумаги и картона, т/сут;

$M_{цвет}^c$  – суточное количество извлекаемых из ТКО цветных металлов, т/сут;

$M_{ст}^c$  – суточное количество извлекаемых из ТКО стеклянных бутылок, т/сут;

$M_{тар}^c$  – суточное количество извлекаемых из ТКО отходов пластмассовой тары, т/сут;

$M_{пл}^c$  – суточное количество извлекаемых из ТКО отходов полимерной пленки, т/сут;

$M_{орг}^c$  – суточное количество органосодержащих ТКО, поступающих на компостирование, т/сут;

$M_{ОРО}^c$  – суточное количество хвостов сортировки ТКО, передаваемых для захоронения на объект размещения отходов, т/сут;

$M_{б.п.}^c$  – суточное количество безвозвратных потерь ТКО при сортировке, т/сут.

При правильном составлении материального баланса и учете всех отходов и вторичных ресурсов, извлекаемых из ТКО, количество безвозвратных потерь должно равняться нулю.

3. На компостирование направляется подрешетный продукт грохочения после аэросепарации и повторной магнитной сепарации – органосодержащая часть ТКО. Перед подачей в биотермический барабан органосодержащую часть ТКО накапливают во вспомогательном (резервном) бункере.

Объем резервного бункера

$$V_{рез} = \frac{M_{орг}^c \cdot \tau_{бб}}{\rho_{орг} \cdot \eta_{зап}}, \text{ м}^3,$$

где  $\tau_{бб}$  – продолжительность нахождения ТКО в биотермическом барабане с учетом времени загрузки и выгрузки, сут;

$\rho_{орг}$  – плотность органосодержащих ТКО из подрешетной области барабанного грохота на входе в барабан, т/м<sup>3</sup>;

$\eta_{зап}$  – коэффициент заполнения бункера,  $\eta_{зап} = 0,85$ .

Биотермический барабан выбирают по каталогу (Приложение 8) исходя из производительности.

Удельная теплота компостирования ориентировочно определяется по формуле:

$$q_k = Q_{1\%} \cdot \frac{\Delta G}{\tau_{\text{бб}}}, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{ч)},$$

где  $Q_{1\%}$  – количество тепловой энергии, выделяющейся при полном окислении 1 % сухой массы органосодержащих ТКО, кДж/кг;

$\Delta G$  – снижение содержания органического вещества на сухую массу за время пребывания массы в биотермическом барабане, %. Содержание органического вещества в массе снижается в среднем на 1,9-2,2 %, поэтому рекомендуется при расчетах принимать  $\Delta G = 2$  %;

$\tau_{\text{бб}}$  – продолжительность выдержки ТКО в биотермическом барабане, ч.

Количество тепловой энергии, выделяющейся при полном окислении 1 % сухой массы органосодержащих ТКО, определяется по формуле:

$$Q_{1\%} = Q_n^r \cdot \Delta M_{1\%} = Q_n^r \cdot \frac{1 - W_{\text{общ}}}{100}, \text{ кДж/кг},$$

где  $Q_n^r$  – низшая теплота сгорания органического вещества ТКО на горючую массу, кДж/кг;

$\Delta M_{1\%}$  – потеря массы органосодержащих ТКО при разложении 1 % органического вещества с учетом влажности, кг;

$W_{\text{общ}}$  – влажность ТКО, доли от 1.

Для определения влажности и низшей теплоты сгорания ТКО используются результаты расчета МСК и справочные данные об элементарном составе компонентов ТКО (Приложение 9).

Пересчет элементарного состава отхода с горючей массы на рабочую выполняется по перечисленным ниже формулам:

$$C_n^P = C_n^r \cdot (100 - W_n - A_n^P) / 100, \text{ \%};$$

$$O_n^P = O_n^r \cdot (100 - W_n - A_n^P) / 100, \text{ \%};$$

$$H_n^P = H_n^r \cdot (100 - W_n - A_n^P) / 100, \text{ \%};$$

$$N_n^P = N_n^r \cdot (100 - W_n - A_n^P) / 100, \text{ \%};$$

$$S_n^P = S_n^r \cdot (100 - W_n - A_n^P) / 100, \text{ \%},$$

где  $C_n^r$ ,  $O_n^r$ ,  $H_n^r$ ,  $N_n^r$ ,  $S_n^r$  – содержание в n-м компоненте отхода углерода, кислорода, водорода, азота и серы на горючую массу соответственно, %;

$W_n$  – влажность n-го компонента отхода на рабочую массу, %;

$A_n^P$  – зольность n-го компонента отхода на рабочую массу, %.

Расчет общего массового содержания элементов на рабочую массу ТКО выполняется по перечисленным ниже формулам.

$$C_{\text{общ}}^P = \sum (\omega_n \cdot C_n^P), \text{ \%};$$

$$O_{\text{общ}}^P = \sum (\omega_n \cdot O_n^P), \text{ \%};$$

$$H_{\text{общ}}^P = \sum (\omega_n \cdot H_n^P), \text{ \%};$$

$$N_{\text{общ}}^P = \sum (\omega_n \cdot N_n^P), \text{ \%};$$

$$S^P_{\text{общ}} = \Sigma (\omega_n \cdot S_n^P), \%;$$

$$W_{\text{общ}} = \Sigma (\omega_n \cdot W_n), \%;$$

$$A^P_{\text{общ}} = \Sigma (\omega_n \cdot A_n^P), \%,$$

где  $\omega_n$  – массовая доля n-го компонента в отходе.

Проверку результатов расчета компонентов отхода следует производить по формуле:

$$C^P_{\text{общ}} + O^P_{\text{общ}} + H^P_{\text{общ}} + N^P_{\text{общ}} + S^P_{\text{общ}} + W_{\text{общ}} + A^P_{\text{общ}} = 100 \%.$$

Низшая теплота сгорания органического вещества ТКО на горючую массу определяется по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q^r_n = 339,15 \cdot C^P_{\text{общ}} + 1256 \cdot H^P_{\text{общ}} - 108,86 \times \\ \times (O^P_{\text{общ}} - S^P_{\text{общ}}) - 25,14 \cdot (9 \cdot H^P_{\text{общ}} + W_{\text{общ}}), \text{ кДж/кг}.$$

Интенсивность выделения тепла компостируемым материалом в этом случае составит:

$$N_B = \frac{M_{\text{бб}} \cdot q_k}{3600}, \text{ кВт},$$

где  $M_{\text{бб}}$  – количество органосодержащих ТКО, загружаемых в биотермический барабан, кг.

Количество материала, загружаемого в биотермический барабан, не должно превышать максимальную массу загрузки, которая определяется по формуле:

$$M_{\text{бб}}^{\text{max}} = V_{\text{пол}} \cdot \rho_{\text{орг}} \cdot k_{\text{з.б.}}, \text{ кг},$$

где  $V_{\text{пол}}$  – полезный объем биотермического барабана,  $\text{м}^3$  (Приложение 8);

$k_{\text{з.б.}}$  – коэффициент заполнения биотермического барабана. ББ обычно заполняется не более чем на 70 %.

Выделяемое массой тепло расходуется на подогрев компостируемого материала, подогрев аэрационного воздуха, испарение влаги и компенсацию тепловых потерь в окружающую среду.

4. Расчет площадки дозревания компоста сводится к определению необходимой площади площадки складирования.

Количество компоста в одной партии, которая поступает на стадию дозревания после выдержки в биотермическом барабане, можно рассчитать по формуле:

$$M_{\text{комп}} = k_{\text{п.м.}} \cdot M_{\text{бб}}, \text{ кг},$$

где  $k_{\text{п.м.}}$  – коэффициент, учитывающий потерю массы при компостировании. В результате компостирования в реакторе органосодержащая фракция ТКО теряет от 5 до 25 % массы.

В некоторых случаях перед дозреванием в компост вводят добавки: щепу, растительные отходы, осадки от очистки сточных вод и др. В этом случае при расчете площадки дозревания к массе компоста добавляется масса добавок.

Для оценки необходимой площади площадки дозревания рассчитывается предельный объем компоста, который поступает на площадку за период созревания:

$$V_{\text{комп}} = \frac{M_{\text{комп}} \cdot \tau_{\text{доз}}}{\rho_{\text{бб}}^{\text{max}} \cdot \tau_{\text{бб}}}, \text{ м}^3,$$

где  $\tau_{\text{доз}}$  – продолжительность дозревания компоста на площадке, ч;

$\rho_{\text{бб}}^{\text{max}}$  – наибольшая плотность компоста, достигаемая на выходе из биотермического барабана при соблюдении оптимальных сроков и режима компостирования, кг/м<sup>3</sup>.

В процессе пребывания материала в биотермическом барабане плотность органосодержащих ТКО достигает 700 кг/м<sup>3</sup> [36].

Срок дозревания компоста зависит от условий и погодных факторов. В среднем дозревание компоста происходит в течение 3-4 месяцев, т.е. до 122 сут.

Дозревание компоста осуществляется в буртах (валообразных насыпях). Схема бурта приведена на рисунке 3.8.

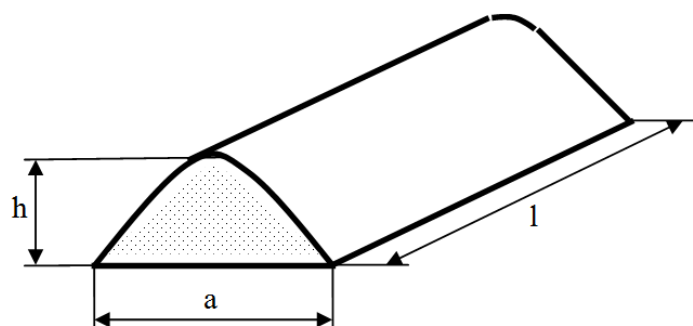


Рисунок 3.8 – Схема бурта для компостирования отходов:

$a$  – ширина нижнего основания бурта;  $b$  – ширина верхнего основания бурта;  
 $h$  – высота бурта;  $l$  – длина бурта

Для выполнения дальнейших расчетов рекомендуется предварительно оценить объем бурта, который рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{бурт}} = 0,5 \cdot h \cdot a \cdot l, \text{ м}^3,$$

где  $h$  – высота бурта, м;

$a$  – ширина основания бурта, м;

$l$  – длина бурта, м.

С целью облегчения процесса ворошения компоста длина бурта не превышает 30 м, угол откоса – 45°. Ширина основания бурта зависит от характеристик применяемых ворошильных машин и может достигать 7,5 м, высота бурта обычно не более 3 м. Поэтому расчет объема бурта начинают с выбора оборудования для ворошения компоста (Приложение 10). Ворошитель выбирается исходя из требуемой производительности. Схема одной из конструкций ворошильных машин приведена на рисунке 3.9.

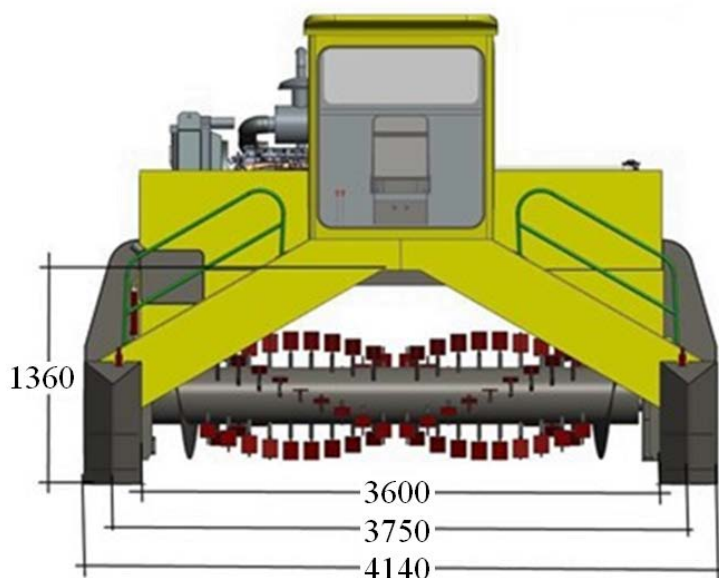


Рисунок 3.9 – Схема самоходного ворошителя компоста М3600 [38]

Необходимое количество буртов определяется по формуле:

$$n_{\text{бурт}} = \frac{V_{\text{комп}}}{V_{\text{бурт}}}.$$

Полученное значение округляется в большую сторону до ближайшего целого числа.

Необходимая площадь прямоугольной площадки дозревания определяется по формуле:

$$S_{\text{доз}} = \left( (a + a_{\text{пр}}) \cdot n_{\text{бурт}} + a_{\text{пр}} \right) \cdot (1 + 2a_{\text{пр}}), \text{ м}^2,$$

где  $a_{\text{пр}}$  – ширина проездов между буртами, м. Рекомендуется принимать ширину проездов не менее 3 м.

### 3.5. Практическое задание

Выполнить расчет приемно-разгрузочного отделения завода КПО, мусоросортировочного комплекса, биотермического барабана и площадки дозревания компоста. Выбрать основное оборудование для обработки и утилизации ТКО, используя Приложения 6-8 и 10.

За среднегодовую производительность принимать среднегодовой норматив образования твердых коммунальных отходов от населенного пункта, полученный при выполнении первого практического задания (за вычетом отходов, образующихся при уборке придорожной зоны автомобильных дорог). При расчете приемного отделения могут быть использованы данные о транспортировании ТКО, полученные при выполнении второго практического задания.

Плотности материала на разных стадиях обработки на заводе КПО приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Плотности ТКО и продуктов их обработки

| Стадия обработки                                             | Материал                        | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Накопление в бункере ПРО (с учетом естественного уплотнения) | несортированные ТКО             | 250                          |
| Подача на механизированную сортировку                        | несортированные ТКО             | 200                          |
| Извлечение черных металлов                                   | смесь металлических компонентов | 600                          |
| Подача на ручную сортировку                                  | сортированные ТКО               | 180                          |
| Подача в биотермический барабан                              | органосодержащая часть ТКО      | 520                          |
| Выгрузка из биотермического барабана                         | компост                         | 650                          |

При расчетах также рекомендуется использовать следующие характеристики этапов, процессов и материалов:

- продолжительность расчетного периода, в течение которого ТКО максимально интенсивно поступают на завод – 310 сут/год;
- продолжительность полного цикла разгрузки мусоровоза с учетом заезда и выезда с поста принимать 1 ч;
- максимальная продолжительность накопления ТКО в приемном бункере – 4 суток;
- скорость перемещения ТКО по конвейеру магнитного сепаратора – 0,5 м/с;
- наибольший диаметр извлекаемых металлических фрагментов – 150 мм (по размеру консервных банок);
- наименьший диаметр извлекаемых металлических фрагментов – 1,5 мм;
- коэффициент разрыхления материала в барабанном грохоте – 0,2;
- размер самого крупного фрагмента (куска) в массе ТКО, подаваемой в грохот – 380 мм;
- срок нахождения компоста в биотермическом барабане – 48 ч. Из них: 3 ч – загрузка, 5 ч – выгрузка;
- продолжительность созревания компоста – 3 месяца (122 суток).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89 «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп. от 26.12.2024 г.) // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/) (дата обращения: 10.01.2025). – Текст : электронный.
2. Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 № 1156 г. «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. № 641» (вместе с «Правилами обращения с твердыми коммунальными отходами»)(с изм. от 30.05.2023) // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_207118/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207118/) (дата обращения: 17.05.2024). – Текст : электронный.
3. ГОСТ Р 56195-2014 Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания придомовой территории, сбора и вывоза бытовых отходов. Общие требования // Консорциум КОДЕКС: [сайт]. – 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200114298> (дата обращения: 17.05.2024). – Текст : электронный.
4. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 г. № 242 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» (с изм. и доп. от 20.12.2024 г.) // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_218071/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_218071/) (дата обращения: 10.01.2025). – Текст : электронный.
5. Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт и обезвреживание) : справочник / В. Г. Систер, А. Н. Мирный, Л.С. Скворцов [и др.]. – М.: АКХ им. К.Д. Панфилова, 2001. – 319 с. – Текст : непосредственный.
6. Биотехнология и микробиология анаэробной переработки органических коммунальных отходов : коллективная монография ; под общ. ред.. А. Н. Кожевниковой, А. Ю. Каллистовой, Ю. В. Литти, М. В. Кевбриной. – М.: Университетская книга, 2017. – 320 с. – Текст : непосредственный.
7. Шавва, А. А. Морфологический состав отходов в городе Санкт-Петербурге / А. А. Шавва // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 7. – С. 217-219. – Текст : непосредственный.
8. Венцюлис, Л. С. Анализ состояния системы обращения с твердыми коммунальными отходами в Санкт-Петербурге за последние 25 лет / Л. С. Венцюлис, А. Н. Пименов, А. Н. Чусов, [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2022. – Т. 14. – № 6. – URL: <https://esj.today/PDF/38NZVN622.pdf> (дата обращения: 05.09.2024). – Текст : электронный.
9. Ильиных, Г. В. Использование результатов определения морфологического состава твёрдых бытовых отходов для обоснования системы обращения с отходами / Г. В. Ильиных // «Вестник ПНИПУ. Урбанистика», 2012 г. – №1. – С. 35-42. – Текст : непосредственный.
10. ИТС 15-2021. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме термических способов) (утв. Приказом Росстандарта от 22.12.2021 №

2964) // Бюро НДТ : [сайт]. – URL: <https://burondt.ru/itc> (дата обращения: 17.05.2024). – Текст : электронный.

11. Постановление Правительства Российской Федерации от 26.08.2023 г. № 1390 «О порядке определения нормативов накопления твердых коммунальных отходов, внесении изменений в Правила направления субъектам Российской Федерации и рассмотрения ими рекомендаций российского экологического оператора при утверждении или корректировке региональной программы в области обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами, а также при установлении или корректировке нормативов накопления твердых коммунальных отходов и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_456176/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_456176/) (дата обращения: 29.09.2024). – Текст : электронный.

12. Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга от 21.12.2023г. №393-р «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Санкт-Петербурга» // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1304379145> (дата обращения: 6.09.2024). – Текст : электронный.

13. Приказ Управления Ленинградской области по организации и контролю деятельности по обращению с отходами от 23.04.2020 г. № 2 «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов» // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/564827996> / (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

14. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 30.12.2016 г. № 1034/пр «Об утверждении СП 42.13330 "СНиП 2.07.01-89\* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений"» // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 18.12.2024). – Текст : электронный.

15. Постановление Правительства РФ от 29.12.2023 г. № 2414 «Об утверждении перечней товаров, упаковки, отходы от использования которых подлежат утилизации, и нормативов утилизации отходов от использования товаров, упаковки» // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_466690/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_466690/92d969e26a4326c5d02fa79b8f9cf4994ee5633b/) (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

16. Постановление Правительства РФ от 12.11.2016 года № 1156 «Об обращении с твердыми коммунальными отходами и внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 25.08.2008 года № 641» // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL:



<https://docs.cntd.ru/document/420382731> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

17. Постановление Правительства РФ от 31.08.2018 г. № 1039 «Об утверждении Правил обустройства мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и ведения их реестра» // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/551031834?marker=6560IO> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

18. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 22.02.2024). – Текст : электронный.

19. Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 г. № 354 (ред. от 24.05.2024) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (вместе с "Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов") // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_114247/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_114247/) (дата обращения: 20.09.2024). – Текст : электронный.

20. Постановление Правительства РФ от 6.06.2024 г. № 775 «О территориальных схемах обращения с отходами производства и потребления» // Правительство России : [официальный сайт]. – URL: <http://government.ru/docs/all/153722/> (дата обращения: 20.09.2024). – Текст : электронный.

21. Приказ Министерства транспорта РФ от 22.11.2021 г. № 399 «Об установлении образцов специальных отличительных знаков, обозначающих класс опасности отходов, а также Порядка нанесения их на транспортные средства, контейнеры, цистерны, используемые при транспортировании отходов» // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_401853/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_401853/2ff7a8c72de3994f30496a0ccbb1ddafdaddf518/) (дата обращения: 6.10.2024). – Текст : электронный.

22. Приказ Минстроя РФ от 06.12.1994 г. № 13 «Об утверждении рекомендаций по нормированию труда работников предприятий внешнего благоустройства. Часть 1. Рекомендации по нормированию труда работников предприятий по эксплуатации дорожного, зеленого хозяйства и санитарной очистки городов // Законодательство РФ : [сайт]. – 2025. – URL: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-minstroja-rf-ot-06121994-n-13/#100005/> (дата обращения: 16.02.2024). – Текст : электронный.

23. ГОСТ Р 71018-2023 Оборудование для сбора и обработки твердых коммунальных отходов. Термины и определения // Росстандарт : [сайт]. – URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/catalognational> (дата обращения: 10.01.2025). – Текст : электронный.
24. Постановление Правительства РФ от 12.10.2020 г. № 1657 «О Единых требованиях к объектам обработки, утилизации, обезвреживания, размещения твердых коммунальных отходов» // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_365180/221e4d8d973a6de10df5fd58075976f3e7b27d1d/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_365180/221e4d8d973a6de10df5fd58075976f3e7b27d1d/) (дата обращения: 20.09.2024). – Текст : электронный.
25. Федеральный закон от 30.03.1999г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с изм. и доп. от 26.12.2024) // КонсультантПлюс : [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22481/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/) (дата обращения: 20.09.2024). – Текст : электронный.
26. Компакторы. Уплотнители твердых бытовых и промышленных отходов. Устройство, основы расчета : учебное пособие / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, Г.В. Кустарев [и др.] ; под общ. ред. Г. В. Кустарева. – М.: МАДИ, 2014. – 100 с. – Текст : непосредственный.
27. Островкин, И. М., Обезвреживание концентрата фильтрата полигонов твердых бытовых отходов золами уноса мусоросжигательных заводов / И. М. Островкин, П. И Островкин // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 2. – С. 91-97. – Текст : непосредственный.
28. Шубов, Л. Я. Технологии отходов (Технологические процессы в сервисе) : учебник / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставронский, Д. В. Шехирев. – М.: МГУС, 2006. – 410 с. – Текст : непосредственный.
29. Шубов, Л. Я., Аналитическая, эколого-экономическая и технологическая оценка промышленных методов переработки твердых бытовых отходов мегаполиса / Л. Я. Шубов, Л. Г. Федоров, Р. В. Залепухин // Науч. и техн. аспекты охраны окруж. среды / ВИНТИ. 1998. – № 3. – С. 20-55. – Текст : непосредственный.
30. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности (основы энвайроменталистики) : учебник / А. И Родионов., В. Н. Клушин, В. Г. Систер. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с. – Текст : непосредственный.
31. Анализ методов сортировки твердых бытовых отходов. // Отходы.Ру : [сайт]. – 2015. – URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=590/> (дата обращения: 20.02.2024). – Текст : электронный.
32. ГОСТ Р 71858-2024 Ресурсосбережение. Альтернативное топливо из твердых коммунальных отходов для цементной промышленности. Технические условия // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310453227> (дата обращения: 12.12.2024). – Текст : электронный.

33. ГОСТ Р 70718-2023 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Методические рекомендации по утилизации органических фракций твердых коммунальных отходов с применением методов компостирования // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1301395372> (дата обращения: 12.12.2024). – Текст : электронный.
34. Компостирование твердых органических отходов производства и потребления. Вермикомпостирование: монография ; под ред. Я. И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 557 с. – Текст : непосредственный.
35. ГОСТ Р 55571-2013 Удобрения органические на основе твердых бытовых отходов. Технические условия // Консорциум КОДЕКС : [сайт]. – 2025. – URL:<https://docs.cntd.ru/document/1200105940> (дата обращения: 20.09.2024). – Текст : электронный.
36. Шубов, Л.Я. Технология твердых бытовых отходов : учебник / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставронский, А. В. Олейник. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 400 с. – Текст : непосредственный.
37. Санитарная очистка и уборка населенных мест : справочник / А. Н. Мирный, Л. С. Скворцов, Е. Н. Пупырев [и др.]. – М.: АКХ им. К.Д. Панфилова, 2010 г. – 368 с. – Текст : непосредственный.
38. Матросов, А. С. Управление отходами / А. С. Матросов. – М.: Гардарики, 1999. – 480 с.
39. Ворошители компоста // ГК НЕТМУС : [сайт]. – 2025. – URL: <https://netmus.ru/catalog-oborudovaniya/voroshiteli-komposta/> (дата обращения: 23.01.2025) – Текст : электронный.
40. Магнитные сепараторы и железоотделители [Электронный ресурс] // НПО «ЭРГА» : [сайт]. – URL: <https://erga.ru/catalog/magnitnye-separatory-i-zhelezootdeliteli/> (дата обращения: 02.11.2023). – Текст : электронный.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Коды и наименования отходов, являющихся или относящихся к ТКО  
(извлечение из блока 7 ФККО) [4]

| Код типов/<br>подтипов/групп/<br>подгрупп/отходов<br>по ФККО | Наименование отхода по ФККО                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 30 000 00 00 0                                             | ОТХОДЫ КОММУНАЛЬНЫЕ, ПОДОБНЫЕ КОММУНАЛЬНЫМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ И ПРИ ПРЕДОСТАВЛЕНИИ УСЛУГ НАСЕЛЕНИЮ                                             |
| 7 31 000 00 00 0                                             | <i>Отходы коммунальные твердые</i>                                                                                                          |
| 7 31 100 00 00 0                                             | <i>Отходы из жилищ</i>                                                                                                                      |
| 7 31 110 00 00 0                                             | <i>Отходы из жилищ при совместном накоплении</i>                                                                                            |
| 7 31 110 01 72 4                                             | отходы из жилищ несортированные (исключая крупногабаритные)                                                                                 |
| 7 31 110 02 21 5                                             | отходы из жилищ крупногабаритные                                                                                                            |
| 7 31 120 00 00 0                                             | <i>Отходы из жилищ при раздельном накоплении</i>                                                                                            |
| 7 31 200 00 00 0                                             | <i>Отходы от уборки территории городских и сельских поселений, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i>                               |
| 7 31 200 01 72 4                                             | мусор и смет уличный                                                                                                                        |
| 7 31 200 02 72 5                                             | мусор и смет от уборки парков, скверов, зон массового отдыха, набережных, пляжей и других объектов благоустройства                          |
| 7 31 200 03 72 5                                             | отходы от уборки территорий кладбищ, колумбариев                                                                                            |
| 7 31 205 11 72 4                                             | отходы от уборки прибордюрной зоны автомобильных дорог                                                                                      |
| 7 31 300 00 00 0                                             | <i>Растительные отходы при уходе за газонами, цветниками, древесно-кустарниковыми посадками, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i> |
| 7 31 300 01 20 5                                             | растительные отходы при уходе за газонами, цветниками                                                                                       |
| 7 31 300 02 20 5                                             | растительные отходы при уходе за древесно-кустарниковыми посадками                                                                          |
| 7 31 900 00 00 0                                             | <i>Прочие твердые коммунальные отходы</i>                                                                                                   |
| 7 31 930 00 00 0                                             | <i>Отходы при ликвидации свалок твердых коммунальных отходов</i>                                                                            |
| 7 31 931 11 72 4                                             | отходы при ликвидации свалок твердых коммунальных отходов                                                                                   |
| 7 33 000 00 00 0                                             | <i>Отходы потребления на производстве, подобные коммунальным</i>                                                                            |

|                  |                                                                                                                                                                   |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 33 100 00 00 0 | <i>Мусор от офисных и бытовых помещений предприятий, организаций, относящийся к твердым коммунальным отходам</i>                                                  |
| 7 33 100 01 72 4 | мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)                                                                      |
| 7 33 100 02 72 5 | мусор от офисных и бытовых помещений организаций практически неопасный                                                                                            |
| 7 33 151 01 72 4 | мусор от бытовых помещений судов и прочих плавучих средств, не предназначенных для перевозки пассажиров                                                           |
| 7 34 000 00 00 0 | <i>Отходы при предоставлении транспортных услуг населению</i>                                                                                                     |
| 7 34 100 00 00 0 | <i>Мусор и смет от уборки железнодорожных и автомобильных вокзалов, аэропортов, терминалов, портов, станций метро, относящийся к твердым коммунальным отходам</i> |
| 7 34 121 11 72 4 | отходы (мусор) от уборки пассажирских терминалов вокзалов, портов, аэропортов                                                                                     |
| 7 34 131 11 71 5 | смет с территории железнодорожных вокзалов и перронов практически неопасный                                                                                       |
| 7 34 200 00 00 0 | <i>Мусор и смет от уборки подвижного состава железнодорожного, автомобильного, воздушного, водного транспорта, относящийся к твердым коммунальным отходам</i>     |
| 7 34 201 00 00 0 | <i>Мусор и смет от уборки подвижного состава железнодорожного транспорта (отходы очистки железнодорожных грузовых вагонов см. группу ФККО 9 22 100 00 00 0)</i>   |
| 7 34 201 01 72 4 | отходы (мусор) от уборки пассажирских вагонов железнодорожного подвижного состава                                                                                 |
| 7 34 201 21 72 5 | отходы (мусор) от уборки пассажирских вагонов железнодорожного подвижного состава, не содержащие пищевые отходы                                                   |
| 7 34 202 00 00 0 | <i>Мусор и смет от уборки подвижного состава городского электрического транспорта</i>                                                                             |
| 7 34 202 01 72 4 | отходы (мусор) от уборки электроподвижного состава метрополитена                                                                                                  |
| 7 34 202 21 72 4 | отходы (мусор) от уборки подвижного состава городского электрического транспорта                                                                                  |
| 7 34 203 00 00 0 | <i>Мусор и смет от уборки подвижного состава автомобильного (автобусного) пассажирского транспорта</i>                                                            |
| 7 34 203 11 72 4 | отходы (мусор) от уборки подвижного состава автомобильного (автобусного) пассажирского транспорта                                                                 |

|                  |                                                                                                                                                                    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 34 204 11 72 4 | мусор, смет и отходы бортового питания от уборки воздушных судов                                                                                                   |
| 7 34 205 11 72 4 | отходы (мусор) от уборки пассажирских судов                                                                                                                        |
| 7 34 205 21 72 4 | особые судовые отходы                                                                                                                                              |
| 7 34 900 00 00 0 | <i>Прочие отходы при предоставлении транспортных услуг населению, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i>                                                   |
| 7 34 951 11 72 4 | багаж невостребованный                                                                                                                                             |
| 7 35 000 00 00 0 | <i>Отходы при предоставлении услуг оптовой и розничной торговли, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i>                                                    |
| 7 35 100 00 00 0 | <i>Отходы (мусор) от уборки территории и помещений объектов оптово-розничной торговли</i>                                                                          |
| 7 35 100 01 72 5 | отходы (мусор) от уборки территории и помещений объектов оптово-розничной торговли продовольственными товарами                                                     |
| 7 35 100 02 72 5 | отходы (мусор) от уборки территории и помещений объектов оптово-розничной торговли промышленными товарами                                                          |
| 7 35 151 11 71 5 | отходы объектов оптово-розничной торговли цветами и растениями, содержащие преимущественно растительные остатки                                                    |
| 7 36 000 00 00 0 | <i>Отходы при предоставлении услуг гостиничного хозяйства и общественного питания, предоставлении социальных услуг населению</i>                                   |
| 7 36 200 00 00 0 | <i>Отходы (мусор) от уборки гостиниц, отелей и других мест временного проживания, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i>                                   |
| 7 36 210 01 72 4 | отходы (мусор) от уборки помещений гостиниц, отелей и других мест временного проживания несортированные                                                            |
| 7 36 211 11 72 5 | мусор от уборки помещений гостиниц, отелей и других мест временного проживания, содержащий преимущественно материалы, отходы которых отнесены к V классу опасности |
| 7 36 411 11 72 5 | отходы (мусор) от уборки территории и помещений социально-реабилитационных учреждений                                                                              |
| 7 36 911 11 42 4 | отходы очистки воздуховодов вентиляционных систем гостиниц, отелей и других мест временного проживания                                                             |
| 7 36 400 00 00 0 | <i>Отходы (мусор) от уборки помещений, организаций, оказывающих социальные услуги, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i>                                  |
| 7 37 000 00 00 0 | <i>Отходы при предоставлении услуг в области образования, искусства, развлечений, отдыха и спорта, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i>                  |

|                  |                                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7 37 100 01 72 5 | отходы (мусор) от уборки территории и помещений учебно-воспитательных учреждений                                                                 |
| 7 37 100 02 72 5 | отходы (мусор) от уборки территории и помещений культурно-спортивных учреждений и зрелищных мероприятий                                          |
| 7 39 400 00 00 0 | <i>Отходы при предоставлении услуг парикмахерскими, салонами красоты, соляриями, банями, саунами, относящиеся к твердым коммунальным отходам</i> |
| 7 39 410 00 00 0 | <i>Отходы (мусор) от уборки парикмахерских, салонов красоты, соляриев</i>                                                                        |
| 7 39 410 01 72 4 | отходы (мусор) от уборки помещений парикмахерских, салонов красоты, соляриев                                                                     |
| 7 39 411 31 72 4 | отходы ватных дисков, палочек, салфеток с остатками косметических средств                                                                        |
| 7 39 413 11 29 5 | отходы волос                                                                                                                                     |
| 7 39 420 00 00 0 | <i>Отходы (мусор) от уборки бань, саун, прачечных</i>                                                                                            |
| 7 39 421 01 72 5 | отходы от уборки бань, саун                                                                                                                      |
| 7 39 422 11 72 4 | отходы от уборки бань, саун, содержащие остатки моющих средств                                                                                   |
| 7 40 000 00 00 0 | <b>ОТХОДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОБРАБОТКЕ, УТИЛИЗАЦИИ, ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ, РАЗМЕЩЕНИЮ ОТХОДОВ</b>                                                          |
| 7 41 119 00 00 0 | <i>Остатки сортировки твердых коммунальных отходов, отнесенные к твердым коммунальным отходам</i>                                                |
| 7 41 119 11 72 4 | остатки сортировки твердых коммунальных отходов при совместном сборе                                                                             |
| 7 41 119 12 72 5 | остатки сортировки твердых коммунальных отходов при совместном сборе практически неопасные                                                       |

## Приложение 2

Нормативы накопления твердых коммунальных отходов для категорий объектов, расположенных на территории Санкт-Петербурга [12]

| №<br>п/п                                           | Наименование категории объектов                                                                                                                                                                                          | Расчетная<br>единица | Годовой<br>норматив<br>накопления<br>отходов, м <sup>3</sup> /год* |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Категории объектов жилищного фонда</i>          |                                                                                                                                                                                                                          |                      |                                                                    |
| 1                                                  | Индивидуальные жилые дома                                                                                                                                                                                                | 1 домовладение       | 4,020                                                              |
| 2                                                  | Многоквартирные дома, в т.ч. коммунальные квартиры                                                                                                                                                                       | 1 м <sup>2</sup>     | 0,077                                                              |
| 3                                                  | Общежития                                                                                                                                                                                                                | 1 м <sup>2</sup>     | 0,052                                                              |
| <i>Категории объектов общественного назначения</i> |                                                                                                                                                                                                                          |                      |                                                                    |
| 1                                                  | Автозаправочные станции                                                                                                                                                                                                  | 1 машино-место       | 10,991                                                             |
| 2                                                  | Автомастерские, шиномонтажные мастерские, станции технического обслуживания                                                                                                                                              | 1 машино-место       | 8,158                                                              |
| 3                                                  | Автомойки                                                                                                                                                                                                                | 1 машино-место       | 11,152                                                             |
| 4                                                  | Бани, сауны                                                                                                                                                                                                              | 1 м <sup>2</sup>     | 0,121                                                              |
| 5                                                  | Бассейны, аквапарки                                                                                                                                                                                                      | 1 м <sup>2</sup>     | 0,012                                                              |
| 6                                                  | Библиотеки, архивы                                                                                                                                                                                                       | 1 место              | 0,322                                                              |
| 7                                                  | Бизнес-центры                                                                                                                                                                                                            | 1 м <sup>2</sup>     | 0,061                                                              |
| 8                                                  | Выставочные залы, музеи                                                                                                                                                                                                  | 1 посетитель         | 0,096                                                              |
| 9                                                  | Гаражи, автостоянки, парковки закрытого типа                                                                                                                                                                             | 1 машино-место       | 0,069                                                              |
| 10                                                 | Гостиничные объекты, в том числе отели и гостиницы; хостелы                                                                                                                                                              | 1 место              | 1,974                                                              |
| 11                                                 | Дошкольные образовательные организации, в том числе ясли; детские сады; прогимназии; центры развития ребенка                                                                                                             | 1 ребенок            | 0,494                                                              |
| 12                                                 | Железнодорожные и автовокзалы, аэропорты, речные порты                                                                                                                                                                   | 1 пассажир           | 0,083                                                              |
| 13                                                 | Зоопарки, ботанические сады                                                                                                                                                                                              | 1 посетитель         | 0,877                                                              |
| 14                                                 | Кладбища, крематории                                                                                                                                                                                                     | 1 м <sup>2</sup>     | 0,008                                                              |
| 15                                                 | Клубы, кинотеатры, концертные залы, театры, цирки                                                                                                                                                                        | 1 место              | 0,048                                                              |
| 16                                                 | Магазины промышленных товаров, магазины хозяйственных товаров                                                                                                                                                            | 1 м <sup>2</sup>     | 0,189                                                              |
| 17                                                 | Мастерские по ремонту компьютерной техники                                                                                                                                                                               | 1 м <sup>2</sup>     | 0,160                                                              |
| 18                                                 | Научно-исследовательские, проектные институты и конструкторские бюро                                                                                                                                                     | 1 сотрудник          | 1,359                                                              |
| 19                                                 | Общеобразовательные организации, организации дополнительного образования, в том числе<br>- общеобразовательные школы, лицеи;<br>- музыкальные и художественные школы;<br>- спортивные школы;<br>- образовательные центры | 1 учащийся           | 0,315                                                              |
| 20                                                 | Объекты организаций, осуществляющих образовательную деятельность с круглосуточным пребыванием обучающихся (граждан), в том числе                                                                                         | 1 место              | 2,564                                                              |



|    |                                                                                                                                                                                              |                  |        |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------|
|    | - интернаты, объекты для детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей;<br>- детские дома;<br>- дошкольные учреждения                                                              |                  |        |
| 21 | Объекты религиозного назначения                                                                                                                                                              | 1 м <sup>2</sup> | 0,017  |
| 22 | Организации социально-бытового обслуживания, в том числе фотоателье; мастерские по ремонту бытовой техники, очков, ключей; мастерские по ремонту одежды и обуви; мастерские по пошиву одежды | 1 м <sup>2</sup> | 0,113  |
| 23 | Организации, оказывающие ритуальные услуги                                                                                                                                                   | 1 м <sup>2</sup> | 0,072  |
| 24 | Организации, учреждения, в том числе офисные помещения; банки и кредитные организации; объекты почтовой связи; иные административные учреждения                                              | 1 сотрудник      | 1,394  |
| 25 | Прачечные, химчистки одежды и обуви                                                                                                                                                          | 1 м <sup>2</sup> | 0,105  |
| 26 | Павильоны                                                                                                                                                                                    | 1 м <sup>2</sup> | 0,532  |
| 27 | Палатки, киоски                                                                                                                                                                              | 1 м <sup>2</sup> | 0,347  |
| 28 | Пансионаты, дома отдыха, туристические базы                                                                                                                                                  | 1 место          | 2,565  |
| 29 | Парки, скверы, сады                                                                                                                                                                          | 1 м <sup>2</sup> | 0,008  |
| 30 | Пекарни (производство)                                                                                                                                                                       | 1 рабочее место  | 11,635 |
| 31 | Пляжи                                                                                                                                                                                        | 1 м <sup>2</sup> | 0,007  |
| 32 | Предприятия иных отраслей промышленности, включая склады и прочие производственные помещения                                                                                                 | 1 сотрудник      | 2,268  |
| 33 | Продовольственные магазины, в том числе супермаркеты; универсамы; универмаги                                                                                                                 | 1 м <sup>2</sup> | 0,259  |
| 34 | Рынки продовольственные, рынки промтоварные                                                                                                                                                  | 1 м <sup>2</sup> | 0,076  |
| 35 | Садоводческие кооперативы, садово-огородные товарищества                                                                                                                                     | 1 участок        | 2,355  |
| 36 | Салоны красоты, в том числе парикмахерские; косметические салоны; спа-салоны                                                                                                                 | 1 м <sup>2</sup> | 0,086  |
| 37 | Спортивные клубы, центры, комплексы                                                                                                                                                          | 1 м <sup>2</sup> | 0,023  |
| 38 | Торгово-развлекательные комплексы, торговые центры                                                                                                                                           | 1 м <sup>2</sup> | 0,156  |
| 39 | Учреждения общественного питания, в том числе кафе, бары и рестораны; столовые; бистро и закусочные                                                                                          | 1 м <sup>2</sup> | 0,685  |
| 40 | Учреждения начального и среднего профессионального образования, высшего профессионального и послевузовского образования, иные учреждения, осуществляющие образовательный процесс             | 1 учащийся       | 0,336  |

\*при переводе объема образованных у юридических лиц и индивидуальных предпринимателей отходов подобных по составу и приравненных к ТКО в массовые региональным оператором обычно применяется плотность 0,2 т/м<sup>3</sup>.

### Приложение 3

Нормативы накопления твердых коммунальных отходов для категорий объектов, расположенных на территории Ленинградской области [13]

| №<br>п/п                                         | Наименование категории объекта                                                                                                                                      | Расчетная<br>единица | Норматив накопления<br>твердых<br>коммунальных<br>отходов (с учетом<br>КГО) |        |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                  |                                                                                                                                                                     |                      | кг/год                                                                      | м³/год |
| Административные здания и учреждения             |                                                                                                                                                                     |                      |                                                                             |        |
| 1                                                | Административные учреждения<br>(отдельно стоящие здания), архивы,<br>музеи, библиотеки                                                                              | 1 сотрудник          | 91,62                                                                       | 1,06   |
| 2                                                | Офисы, служебные помещения, банки<br>(расположенные во встроенных<br>помещениях)                                                                                    | 1 м²                 | 36,68                                                                       | 0,47   |
| Предприятия торговли                             |                                                                                                                                                                     |                      |                                                                             |        |
| 3                                                | Продовольственные магазины                                                                                                                                          | 1 м²                 | 71,91                                                                       | 0,88   |
| 4                                                | Промтоварные магазины                                                                                                                                               | 1 м²                 | 52,30                                                                       | 0,62   |
| 5                                                | Супермаркеты (универмаг, универсам)                                                                                                                                 | 1 м²                 | 120,27                                                                      | 1,31   |
| 6                                                | Рынки                                                                                                                                                               | 1 м²                 | 9,67                                                                        | 0,11   |
| 7                                                | Аптеки                                                                                                                                                              | 1 м²                 | 53,66                                                                       | 0,62   |
| 8                                                | Цветочные магазины                                                                                                                                                  | 1 м²                 | 39,53                                                                       | 0,55   |
| 9                                                | Магазины алкогольной продукции                                                                                                                                      | 1 м²                 | 80,67                                                                       | 0,95   |
| Предприятия транспортной инфраструктуры          |                                                                                                                                                                     |                      |                                                                             |        |
| 10                                               | Железнодорожные и автовокзалы                                                                                                                                       | 1 пассажир           | 36,24                                                                       | 0,47   |
| 11                                               | Автомастерские, шиномонтажные<br>мастерские, станции технического<br>обслуживания                                                                                   | 1 м²                 | 32,96                                                                       | 0,51   |
| 12                                               | Автомойки, автозаправочные станции                                                                                                                                  | 1 машино-<br>место   | 1030,87                                                                     | 15,59  |
| 13                                               | Автостоянки, парковки                                                                                                                                               | 1 машино-<br>место   | 5,77                                                                        | 0,07   |
| Дошкольные и учебные заведения                   |                                                                                                                                                                     |                      |                                                                             |        |
| 14                                               | Дошкольные образовательные<br>учреждения                                                                                                                            | 1 учащийся           | 115,08                                                                      | 0,73   |
| 15                                               | Общеобразовательные учреждения,<br>учреждения начального и среднего<br>профессионального образования,<br>высшего профессионального и<br>послевузовского образования | 1 учащийся           | 60,15                                                                       | 0,40   |
| 16                                               | Учреждения дополнительного<br>образования                                                                                                                           | 1 учащийся           | 16,61                                                                       | 0,22   |
| 17                                               | Детские дома, интернаты                                                                                                                                             | 1 учащийся           | 204,22                                                                      | 1,93   |
| Культурно-развлекательные, спортивные учреждения |                                                                                                                                                                     |                      |                                                                             |        |
| 18                                               | Дворцы культуры, клубы, кинотеатры,<br>концертные залы, театры, стадионы                                                                                            | 1 место              | 14,05                                                                       | 0,15   |
| 19                                               | Пансионаты, дома отдыха,<br>туристические базы, спортивные залы,<br>бассейны                                                                                        | 1 м²                 | 5,77                                                                        | 0,18   |

| <i>Предприятия общественного питания</i>      |                                                                                                                                       |                                           |         |        |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------|--------|
| 20                                            | Кафе, рестораны, бары, закусочные, столовые                                                                                           | 1 м <sup>2</sup>                          | 80,12   | 0,58   |
| <i>Предприятия службы быта</i>                |                                                                                                                                       |                                           |         |        |
| 21                                            | Гостиницы                                                                                                                             | 1 место                                   | 170,38  | 1,79   |
| 22                                            | Парикмахерские, косметические салоны, салоны красоты                                                                                  | 1 м <sup>2</sup>                          | 37,60   | 0,62   |
| 23                                            | Бани, сауны                                                                                                                           | 1 м <sup>2</sup>                          | 10,33   | 0,15   |
| 24                                            | Мастерские по ремонту одежды, обуви, ключей, часов; мастерские по ремонту бытовой, компьютерной техники; химчистки, прачечные; ателье | 1 м <sup>2</sup>                          | 19,09   | 0,33   |
| <i>Предприятия в сфере похоронных услуг</i>   |                                                                                                                                       |                                           |         |        |
| 25                                            | Предприятия в сфере похоронных услуг (кладбища)                                                                                       | 1 га                                      | 4764,89 | 48,51  |
| 26                                            | Организации, оказывающие ритуальные услуги                                                                                            | 1 м <sup>2</sup>                          | 4,38    | 0,07   |
| <i>Некоммерческие объединения граждан</i>     |                                                                                                                                       |                                           |         |        |
| 27                                            | Садоводческие кооперативы, садово-огородные товарищества                                                                              | 1 участок                                 | 423,04  | 2,26   |
| <i>Учреждения здравоохранения</i>             |                                                                                                                                       |                                           |         |        |
| 28                                            | Медицинские центры, центры здоровья                                                                                                   | 1 м <sup>2</sup>                          | 53,40   | 0,47   |
| 29                                            | Больницы, санатории                                                                                                                   | 1 койко-место                             | 166,99  | 2,37   |
| 30                                            | Поликлиники, амбулатории                                                                                                              | 1 посещение в день                        | 21,72   | 0,29   |
| <i>Объекты жилищного фонда (с учетом КГО)</i> |                                                                                                                                       |                                           |         |        |
| 31                                            | Многоквартирные дома                                                                                                                  | 1 м <sup>2</sup> площади жилого помещения | 13,118  | 0,0818 |
| 32                                            | Индивидуальные жилые дома                                                                                                             | 1 житель                                  | 240,097 | 1,533  |

## Приложение 4

### Характеристики некоторых сборников ТКО

| Описание / марка                                                                                            | Объем<br>(вместимость),<br>м³ | Вес, кг | Габаритные<br>размеры (ДхШхВ),<br>мм |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------|--------------------------------------|
| Контейнер пластиковый<br>несменяемый с крышкой                                                              | 0,24                          | 15      | 740x580x1100                         |
| Контейнер пластиковый<br>несменяемый                                                                        | 0,36                          | 16,2    | 803x747x1072                         |
| Контейнер пластиковый<br>несменяемый с крышкой                                                              | 0,66                          | 45      | 860x1370x1200                        |
| Контейнер металлический<br>несменяемый                                                                      | 0,75                          | 90      | 980x980x1200                         |
| Контейнер пластиковый<br>несменяемый с крышкой TwinLid                                                      | 1,1                           | 74      | 1072x1390x1367                       |
| Мелко заглубленный контейнер<br>Escobin, несменяемый                                                        | 3,0                           | 200     | 1700x1550                            |
| Контейнер/бункер<br>металлический «Лодочка»<br>открытый, несменяемый, для<br>мусоровозов с задней загрузкой | 6,0                           | 420     | 3125x1780x1600                       |
| Контейнер/бункер<br>металлический «Лодочка»,<br>сменяемый, 4 загрузочных люка                               | 6,0                           | 420     | 3125x1780x1600                       |
| Контейнер металлический<br>сменяемый, 6 загрузочных люков                                                   | 9,0                           | 950     | 2395x3880x1550                       |
| Контейнер металлический<br>сменяемый, 6 загрузочных люков                                                   | 12,0                          | 950     | 2290x3910x1750                       |
| Контейнер/бункер открытый<br>металлический (пухто),<br>сменяемый                                            | 20,0                          | 2250    | 2500x6285x1682                       |
| Контейнер/бункер открытый<br>металлический (пухто),<br>сменяемый                                            | 27,0                          | 2530    | 2500x6285x2190                       |

## Приложение 5

### Характеристики некоторых мусоровозов и прочей техники

| №<br>п/п | Марка             | Грузоподъемность,<br>т / емкость, м³ | Длина х<br>ширина х<br>высота, м | Назначение                                                                               |
|----------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | КО-440-7          | 5,5 / 16                             | 6,8 х 2,5 х 3,6                  | механизированная<br>боковая загрузка ТКО<br>из контейнеров,<br>уплотнение                |
| 2        | КО-440-5          | 9,7 / 22                             | 8,7 х 2,5 х 3,6                  |                                                                                          |
| 3        | МКМ-2             | 4,7 / 10                             | 7,2 х 2,5 х 3,3                  |                                                                                          |
| 4        | МКМК-17005        | 7,5 / 12                             | 7,55 х 2,5 х 3,48                |                                                                                          |
| 5        | КО-456-14         | 4,1 / 10                             | 7,6 х 2,55 х 3,4                 | механизированная<br>задняя загрузка ТКО из<br>контейнеров объемом<br>до 8 м³, уплотнение |
| 6        | КО-427-01         | 9,7 / 18                             | 9,15 х 2,55 х<br>3,85            |                                                                                          |
| 7        | КО-427-90         | 11 / 22                              | 9,7 х 2,55 х 3,8                 |                                                                                          |
| 8        | Kobit PRESKO<br>3 | 0,9 / 3,5                            | 6,5 х 2,55 х 3,5                 | механизированная<br>задняя загрузка ТКО из<br>евроконтейнеров,<br>уплотнение             |
| 9        | Kobit PRESKO<br>7 | 3 / 7                                | 7,2 х 2,55 х 3,5                 |                                                                                          |

|    |                         |              |                   |                                                                                                                                       |
|----|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 | Kobit PRESKO 15         | 7 / 15       | 9,2 x 2,55 x 3,5  |                                                                                                                                       |
| 11 | КО-452-12               | - / до 30    | 9 x 2,5 x 3,9     | транспортирование пухто вместимостью до 30 м <sup>3</sup> и отходов до 4,4 м длиной                                                   |
| 12 | Мультилифт Хёндэ HD 260 | - / до 30    | 8,6 x 2,5 x 3,9   |                                                                                                                                       |
| 13 | Мультилифт Хёндэ HD 78  | 3,5 / 10     | 5,6 x 2,26 x 2,64 | транспортирование сменяемых контейнеров до 4,1 м длиной                                                                               |
| 14 | КО-450                  | - / 8        | 6,3 x 2,55 x 3,5  |                                                                                                                                       |
| 15 | МСК-6А                  | 5,53 / до 14 | 6,2 x 1,6 x 2,4   | транспортирование сменяемых контейнеров К-6, К-12, К-14                                                                               |
| 16 | КО-326-05               | 7,13 / 7     | 6,7 x 2,5 x 3,4   | механизированная уборка проезжей территорий с твердым покрытием с увлажнением поверхности и поглощением пыли, транспортирование смета |
| 17 | КО-326-06               | 8,13 / 7     | 7,1 x 2,5 x 3,4   |                                                                                                                                       |
| 18 | КО-326-10               | 4,8 / 6      | 7,2 : 2,5 : 3,1   |                                                                                                                                       |
| 19 | КО-326-11               | 8,0 / 6,     | 7,0 : 2,5 : 3,4   |                                                                                                                                       |

### Приложение 6

Технико-эксплуатационные характеристики магнитных сепараторов [39]

| Показатель                            | Марки барабанных магнитных сепараторов |              |              |              |               |               |
|---------------------------------------|----------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
|                                       | СМБП 200x200                           | СМБП 335x300 | СМБП 335x600 | СМБП 600x500 | СМБП 600x1000 | СМБП 600x1500 |
| Рабочая длина барабана, мм            | 200                                    | 300          | 600          | 500          | 1000          | 1500          |
| Диаметр барабана, мм                  | 200                                    | 335          | 335          | 600          | 600           | 600           |
| Производительность, м <sup>3</sup> /ч | 1,5                                    | 4            | 7            | 10           | 25            | 40            |
| Потребляемая мощность, кВт            | 0,18                                   | 0,25         | 0,5          | 0,75         | 3             | 5,5           |
| Масса, кг                             | 100                                    | 195          | 300          | 900          | 1150          | 1400          |

### Приложение 7

Технико-эксплуатационные показатели барабанных грохотов

| Марка, модель                               | Размеры просеивающей поверхности, м |         | Размер отверстий, мм | Угол наклона барабана, град |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|---------|----------------------|-----------------------------|
|                                             | длина                               | диаметр |                      |                             |
| Стационарный барабанный грохот «Модель 722» | 22                                  | 7       | 250                  | 5                           |
| Стационарный барабанный грохот «Скреем»     | 22                                  | 7       | 250                  | 4                           |
| Стационарный барабанный грохот «Новатор»    | 16,4                                | 4,83    | 200-250              | 6                           |
| Стационарный барабанный грохот самоочистной | 12,63                               | 5       | 200-250              | 7                           |
| Мобильный барабанный грохот «ABONO-DT5»     | 4,5                                 | 1,6     | 250                  | 4                           |

## Приложение 8

### Технико-эксплуатационные показатели биотермических барабанов [35]

| Показатель                                                 | Марки биотермических барабанов |          |          |          |          |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                                            | КМ-101                         | КМ-101А  | КМ-102   | КМ-102Б  | КМ-103   |
| Внутренний диаметр, м                                      | 4                              | 4        | 4        | 4        | 5        |
| Длина барабана, м                                          | 36                             | 36       | 60       | 60       | 75       |
| Толщина стенок, мм                                         | 20                             | 20       | 20       | 20       | 20       |
| Уклон, %                                                   | 0,87                           | 0,87     | 0,87     | 0,87     | 0,87     |
| Полезный объем, м <sup>3</sup>                             | 250                            | 300      | 530      | 530      | 1000     |
| Производительность, тыс. т/год (тыс. м <sup>3</sup> /год)* | 15 (80)                        | 20 (105) | 32 (160) | 35 (175) | 66 (330) |
| Интенсивность загрузки/выгрузки, т/ч                       | 12-16                          | 15-18    | 20       | 25       | 30-38    |
| Общая масса барабана, т                                    | 314                            | 314      | 613      | 613      | 960      |

\* При начальной плотности загружаемого материала 200 кг/м<sup>3</sup>.

## Приложение 9

### Элементный состав, усредненные значения влажности и зольности компонентов ТКО

| Компоненты ТКО      | Элементный состав компонентов на горючую массу, % |                             |                             |                             |                             | Влажность компонента, W <sub>n</sub> , % | Зольность компонента, A <sub>n</sub> <sup>P</sup> , % |
|---------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                     | C <sub>n</sub> <sup>r</sup>                       | H <sub>n</sub> <sup>r</sup> | O <sub>n</sub> <sup>r</sup> | N <sub>n</sub> <sup>r</sup> | S <sub>n</sub> <sup>r</sup> |                                          |                                                       |
| Пищевые отходы      | 53,6                                              | 7,7                         | 34,1                        | 4,0                         | 0,6                         | 72                                       | 7,5                                                   |
| Бумага, картон      | 46,2                                              | 6,2                         | 47,1                        | 0,3                         | 0,2                         | 33                                       | 10                                                    |
| Дерево              | 51,0                                              | 6,1                         | 42,6                        | 0,2                         | 0,1                         | 20                                       | 3                                                     |
| Кожа, резина        | 77,9                                              | 6,0                         | 15,1                        | 0,3                         | 0,7                         | 10                                       | 15                                                    |
| Пластмасса          | 67,7                                              | 9,3                         | 21,5                        | 1,1                         | 0,4                         | 13                                       | 4                                                     |
| Кости               | 53,6                                              | 7,7                         | 34,1                        | 4,0                         | 0,6                         | 10                                       | 21,8                                                  |
| Текстиль            | 56,1                                              | 6,8                         | 32,2                        | 4,8                         | 0,1                         | 30                                       | 8                                                     |
| Отсев, меньше 15 мм | 46,4                                              | 6,3                         | 47,0                        | 0                           | 0,3                         | 20                                       | 50                                                    |

## Приложение 10

### Технико-эксплуатационные показатели ворошителей компоста [38]

| Модель                                  | М 2000 | М 2600 | М 3000 | М 3600 | М 3800 | М 4800 |
|-----------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Мощность, кВт                           | 24     | 68     | 95     | 95     | 145    | 216    |
| Вес, т                                  | 1,5    | 2,6    | 4,0    | 5,5    | 6,0    | 10,0   |
| Рабочая ширина бурта, м                 | 2,0    | 2,6    | 3,0    | 3,6    | 3,8    | 4,8    |
| Рабочая высота бурта, м                 | 0,8    | 1,2    | 1,43   | 1,63   | 1,7    | 2,2    |
| Производительность, м <sup>3</sup> /час | 430    | 720    | 1000   | 1250   | 1500   | 2500   |

Учебное издание

**Васильева Елена Александровна**

**Технология обращения  
с твердыми коммунальными отходами  
Часть 1**

*Учебное пособие*

Редактор и корректор Д. А. Романова  
Техн. редактор М. Д. Баранова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:  
электронное устройство с программным обеспечением  
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 23.04.2025 г. Рег. № 5224/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.