

DOI 10.15593/2409-5125/2017.02.02

УДК 504.064.45

С.В. Польшгалов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОРТИРОВКЕ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Систематизированы технические и технологические решения при выборе оборудования для строительства новых мусоросортировочных комплексов, а также расширения и реконструкции существующих заводов по сортировке твердых коммунальных отходов (ТКО). Технические и технологические решения сведены в общий каталог, в основе которого положен системный и структурный анализ процесса сортировки. Предложенный каталог технических и технологических решений позволяет подобрать оптимальную конфигурацию технологической линии сортировки ТКО, а также оценить количество и качество входящих и выходящих потоков отходов и вторичного сырья.

В статье представлены основные этапы сортировки ТКО, их декомпозиция на более детальные операции (подэтапы). К основным этапам сортировки ТКО относятся: подготовка ТКО, основная сортировка ТКО, подготовка вторичного сырья к реализации, извлечение остаточного ресурсного потенциала, обработка крупногабаритных отходов, обработка мелкой фракции и обработка опасных материалов. Для каждого этапа отражены значимые характеристики процесса: производительность, эффективность, потребление электроэнергии и других ресурсов, капитальные и эксплуатационные затраты, условия эксплуатации (требования к месту размещения, температуре, покрытию поверхностей и т.п.), необходимая численность и квалификация персонала, размеры оборудования и требуемая площадь. Также для каждой технологической операции предложены наиболее подходящие способы ее выполнения в зависимости от технических характеристик, достоинств и недостатков разного оборудования.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, твердое топливо из ТКО, технические и технологические решения, технологическая схема сортировки ТКО.

На сегодняшний день инфраструктура по обработке и сортировке ТКО в городах Российской Федерации интенсивно развивается: на территории РФ в 2013 г. функционировало 53 комплекса по сортировке отходов. При этом приказом «Об утверждении комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской

Польшгалов С.В. Систематизация технических и технологических решений по сортировке твердых коммунальных отходов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 2. – С. 17–31. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.02

Polygalov S. Systematization of technical and technological solutions for sorting of municipal solid waste. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 2. Pp. 17-31. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.02.02

Федерации» № 298 от 14.08.2013 г. утверждена комплексная стратегия обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации, в которой поставлены следующие задачи:

- 1) совершенствование нормативно-правового регулирования деятельности по обращению с ТКО;
- 2) создание эффективной системы управления в области обращения с ТКО;
- 3) развитие инфраструктуры по отдельному сбору, утилизации (использованию), обезвреживанию и экологически и санитарно-эпидемиологически безопасному размещению ТКО.

Одним из основных направлений действий по решению задачи совершенствования нормативно-правового регулирования деятельности по обращению с ТКО является поэтапное введение запрета на захоронение отходов:

- с содержанием органических компонентов;
- без предварительной механической и химической обработки и сортировки по компонентам, подлежащим утилизации (использованию);
- в объектах размещения отходов потребления, не соответствующих установленным к таким объектам экологическим требованиям.

Согласно ФЗ № 7-ФЗ от 10.01.2002 (ред. от 03.07.2016) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2017), обеспечение снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду должно достигаться путем использования наилучших доступных технологий (НДТ) с учетом экономических и социальных факторов.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям [1] содержит следующие сведения:

- указание конкретного вида хозяйственной и (или) иной деятельности (отрасли, части отрасли, производства), осуществляемой в Российской Федерации, включая используемые сырье, топливо;
- описание основных экологических проблем, характерных для конкретного вида хозяйственной и (или) иной деятельности;
- методология определения наилучшей доступной технологии;
- описание наилучшей доступной технологии для конкретного вида хозяйственной и (или) иной деятельности, в том числе перечень основного технологического оборудования;
- технологические показатели наилучших доступных технологий;
- методы, применяемые при осуществлении технологических процессов для снижения их негативного воздействия на окружающую среду

и не требующие технического переоснащения, реконструкции объекта, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду;

- оценка преимуществ внедрения наилучшей доступной технологии для окружающей среды;
- данные об ограничении применения наилучшей доступной технологии;
- экономические показатели, характеризующие наилучшую доступную технологию;
- сведения о новейших наилучших доступных технологиях, в отношении которых проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы или осуществляется их опытно-промышленное внедрение;
- иные сведения, имеющие значение для практического применения наилучшей доступной технологии.

26 марта 2016 г. вступило в силу Постановление Правительства РФ № 197 «Об утверждении требований к составу и содержанию территориальных схем обращения с отходами, в том числе с твердыми коммунальными отходами», которое закладывает основу для принятия регионов РФ территориальной схемы обращения с отходами. Территориальная схема обращения с отходами производства, образующимися на территориях регионов Российской Федерации, разрабатывается в целях организации и осуществления деятельности по сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию, захоронению отходов на территории каждого региона РФ в соответствии с требованиями ст. 13.3 Федерального закона от 24.06.1998 (ред. от 29.12.2015) №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», Постановления Правительства РФ от 16.03.2016 № 197.

Территориальные схемы обращения с отходами помогут определить потребности каждого региона РФ в мусороперерабатывающих предприятиях и мусоросортировочных станциях [2–4].

Однако многим субъектам органы Росприроднадзора не утвердили территориальные схемы из-за ряда причин: низкое качество проработки территориальных схем, недостаток опыта по созданию подобных документов, поверхностный подход к решению задачи со стороны руководства многих регионов, а также отсутствие достоверной единообразной информации о количестве образующихся в регионах отходов и единых подходов к их учету [5, 6]. Поэтому было принято решение о переносе сроков реформы на 1 января 2019 г.

Регионы, у которых территориальные схемы утверждены в срок, в том числе Пермский край [7], а также выбраны региональные операторы, начнут в качестве эксперимента работать по новой системе [5, 6].

В связи с этим на территории Российской Федерации в ближайшие годы следует ожидать всплеск строительства и ввод в эксплуатацию большого числа новых, расширение и реконструкцию существующих мусоросортировочных комплексов, которые позволят извлекать как материальный (вторичное сырье – компоненты, которые можно переработать и использовать вторично), так и энергетический (компоненты ТКО, обладающие высокой калорийностью) потенциал. В России на сегодняшний день выделение вторичного сырья из ТКО является одним из государственных приоритетов.

При выборе наиболее целесообразной технологии сортировки ТКО необходимо учитывать следующие факторы:

- финансовые возможности по первоначальным инвестициям;
- заданную производительность;
- компонентный состав ТКО;
- число компонентов, входящих в состав ТКО, которые в данных технико-экономических условиях (региональных, национальных, глобальных) востребованы на рынке и должны извлекаться в самостоятельный продукт;
- требования, предъявляемые к продуктам переработки – влажность, наличие и содержание примесей (биоразлагаемых компонентов), разделение по цвету и размеру кусков, химический состав, теплота сгорания;
- число компонентов, которые являются опасными и должны быть удалены из ТКО либо по экологическим соображениям, либо исходя из требований процессов дальнейшей обработки (к опасным компонентам относятся в первую очередь токсичные материалы – отработанные люминесцентные лампы и отработанные химические источники тока);
- требования экологических и санитарно-гигиенических норм с учетом фонового загрязнения территории и географического местоположения;
- размер промплощадки, выделяемой под застройку [8].

При этом процесс сортировки ТКО должен быть экономически эффективен, т.е. осуществляться с максимальным выходом продукта (компонентов вторичного сырья и твердого топлива из ТКО и т.п.). Часто линии сортировки ТКО становятся малоэффективными или убыточными из-за неправильно подобранного оборудования, недостаточно эффективной организации технологического процесса, несоблюдения режимов работы на всех этапах технологии и т.п. [9]. Особенно важным для создания эффективного производства по сортировке ТКО является учет исходного морфологического состава ТКО на основе актуальных исследований, дающих объективную картину для получения достоверных исходных данных для бизнес-планирования и проектирования производства [10, 11].

Для подбора оптимальной технологической схемы сортировки ТКО предложены технические и технологические проектные решения мусороперерабатывающих предприятий, которые позволяют:

- 1) разработать оптимальную технологическую линию сортировки ТКО и оценить количество и качество входящих и выходящих потоков отходов и продуктов на каждом этапе;
- 2) выбрать наиболее подходящий способ выполнения каждой технологической операции;
- 3) подобрать оборудование в зависимости от технических характеристик, заявленных производителем.

Предложенные решения сведены в единый каталог, в котором прописаны основные сведения: состав и основные свойства отходов; ресурсный потенциал ТКО; определяющие факторы при выборе конкретной технологии; основные этапы сортировки ТКО и их подэтапы [12]. Для каждого подэтапа отражены значимые характеристики, которые должны учитываться при выборе способа реализации конкретного подэтапа. К основным значимым характеристикам можно отнести производительность, эффективность, потребление электроэнергии и других ресурсов, капитальные и эксплуатационные затраты, условия эксплуатации (требования к месту размещения, температуре, покрытию поверхностей и т.п.), необходимую численность и квалификацию персонала, размеры оборудования и требуемую площадь.

В основу разработанного каталога технических и технологических решений заложены методы системного и структурного анализа.

Системный анализ позволил рассмотреть сортировку ТКО как систему (рис. 1), которая отражает входящие и выходящие потоки.

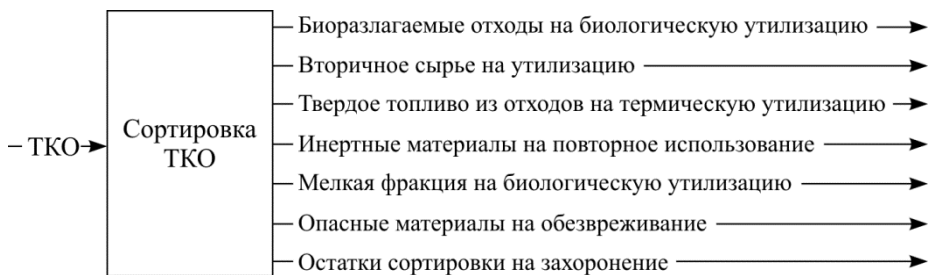


Рис. 1. Схема потоков процесса сортировки (системный анализ)

Структурный анализ – метод анализа требований и проектирования системы независимо от того, является ли она существующей или создается с целью выделения операций (этапов) и связей между ними [13–15]. На

рис. 2 изображена общая схема сортировки с детализацией на этапы, а также показаны потоки отходов, которые можно переработать в продукты: вторичные материалы, твердое топливо из отходов, компост. Разработанная схема является наиболее общей моделью сортировки, так как она охватывает все возможные извлекаемые потоки на разных этапах. На практике технологическая схема сортировки ТКО индивидуальна для каждого предприятия и подбирается исходя из массы (объема) входящего потока отходов, его компонентного состава, спроса на отдельные виды вторичного сырья, имеющихся площадей, задач и ограничений предприятия. Поэтому последовательность и количество этапов может варьироваться.

Для дальнейшего описания процесса сортировки используется декомпозиция каждого этапа, уточняющая связи между операциями сортировки. Декомпозиция – это процесс создания диаграммы, детализирующей определенный элемент объекта на меньшие и более частные операции или функции (рис. 3).

В каталоге технических и технологических решений представлены основные этапы сортировки ТКО [16]:

1. Подготовка ТКО. Данный этап предназначен для усреднения характеристик сортируемого потока, удаления мешающих компонентов с целью повышения эффективности извлечения вторичного сырья на последующих подэтапах технологического процесса. К этому этапу относятся следующие технологические операции:

- отделение крупногабаритных отходов;
- открытие пакетов с ТКО;
- предварительное отделение вторичного сырья и/или опасных материалов;
- фракционирование ТКО (грохочение и/или дробление).

2. Основная сортировка ТКО. Существенным этапом в технологическом процессе мусоросортировочного предприятия является основная сортировка ТКО, на которой происходит непосредственное отделение требуемых компонентов (компоненты вторичного сырья, твердого топлива из отходов) или разделение основного потока на несколько целевых потоков по физическим параметрам отходов. Промышленную сортировку ТКО можно условно разделить на следующие виды:

- механическую (основана на принципе разделения потока материала под действием силы тяжести и центробежной силы, возвратно-поступательного движения и т.п.);

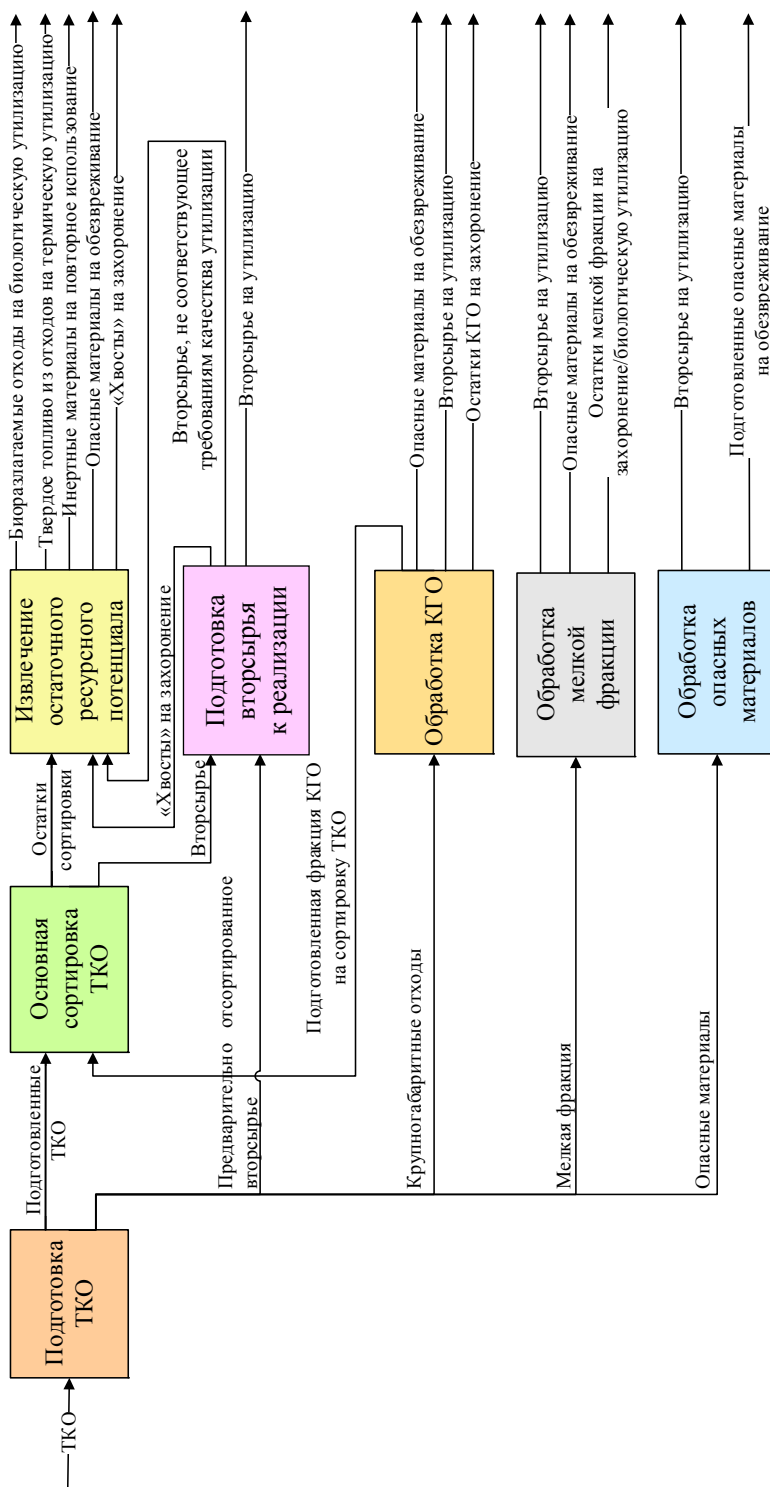


Рис. 2. Технологическая схема сортировки TKO (КГО – крупногабаритные отходы)

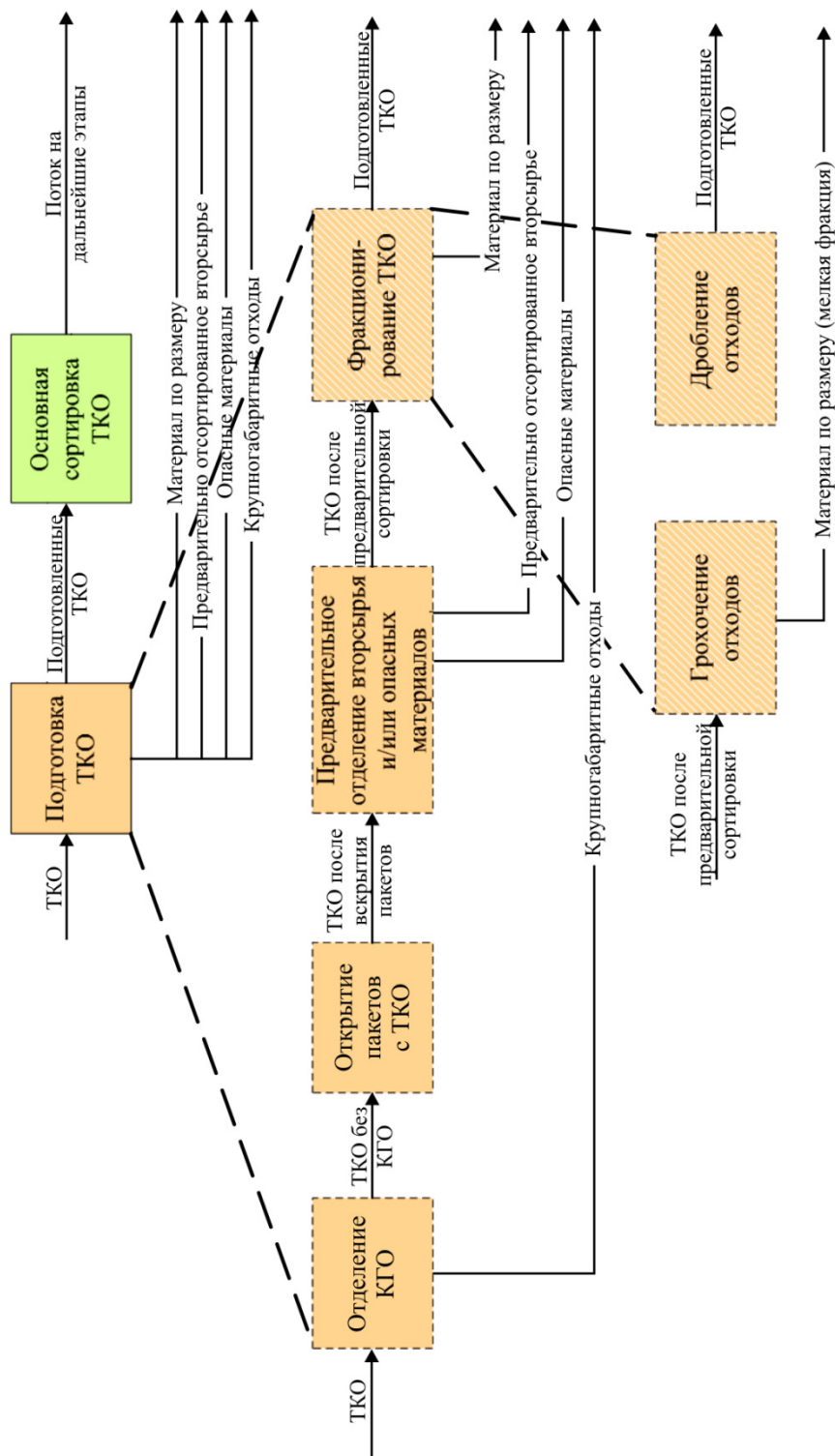


Рис. 3. Декомпозиции этапа «Подготовка ТКО»

- электромагнитную (основана на различиях материалов по их магнитным свойствам, критерием разделения является проводимость);
- ручную (распознавание материалов производится персоналом визуально, а отбор осуществляется вручную);
- оптико-механическую (в основе лежит использование сенсоров оптического определения материала компонентов ТКО и выделение желаемых компонентов механически, в том числе при помощи воздушной сепарации).

3. Подготовка вторичного сырья к реализации. Проводится для повышения качества вторичного сырья, уменьшения размеров компонентов за счет дробления и т.п. В данном этапе можно выделить следующие подэтапы:

- доочистка потоков;
- прокалывание потоков (например, ПЭТ-бутылки);
- прессование потоков и «хвостов»;
- упаковывание потоков и «хвостов».

4. Извлечение остаточного ресурсного потенциала. Данный этап предназначен для выделения остатков ценных компонентов и опасных материалов. Этап делится на следующие подэтапы:

- выделение горючих материалов и их подготовка к термической утилизации;
- выделение инертных материалов и их подготовка к повторному использованию;
- выделение биоразлагаемых отходов и их подготовка к биологической утилизации;
- выделение опасных материалов;
- прессование «хвостов».

5. Обработка крупногабаритных отходов (КГО). Обработка КГО предназначена: во-первых, для уменьшения размеров предметов и материалов для последующей транспортировки, извлечение полезных компонентов и опасных материалов. Этап можно декомпозировать на следующие подэтапы:

- сортировка КГО;
- дробление КГО;
- разборка КГО вручную;
- выделение опасных материалов;
- подготовка КГО к захоронению.

6. Обработка мелкой фракции. Данный этап предназначен для подготовки мелкой фракции к компостированию. Этап можно представить следующими подэтапами:

- выделение вторичного сырья;
- выделение опасных материалов;
- удаление балластных фракций.

7. Обработка опасных материалов. Этап предназначен для предотвращения вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека с целью последующей утилизации или обезвреживания опасных материалов.

Практически каждый подэтап может быть выполнен вручную и/или механически. При механическом способе выполнения следует выбрать основные типы оборудования, которые также представлены в каталоге технических и технологических решений. Например, для этапа «Открытие пакетов с ТКО» способы выполнения следующие:

- ручной – пакеты с ТКО вскрывают рабочие предприятия с использованием осторезующих предметов, количество рабочих определяется объемом поступающих отходов;
- механический – вскрытие пакетов с ТКО осуществляется при помощи оборудования, оснащенного осторезующими элементами.

Для разрыва пакетов существует несколько конструктивных исполнений машин (рис. 4) [12].



Рис. 4. Классификация разрывателей пакетов

Как уже было сказано, для каждого подэтапа отражены значимые характеристики, которые должны учитываться при выборе способа реализации конкретного подэтапа.

При выборе способа осуществления подэтапа (ручной или механический) указаны достоинства и недостатки каждого способа, например, для этапа «Открытие пакетов с ТКО» сравнительная характеристика способов представлена в таблице.

В зависимости от выбранного способа в приложении каталога технических и технологических решений приведены технические характеристики оборудования некоторых производителей.

Сравнительная характеристика способов выполнения [11]

Способ выполнения	Достоинства	Недостатки
Ручной	Не требуется дополнительных условий для осуществления процесса, т.е. не нужно учитывать параметры и размеры оборудования	Низкая производительность по сравнению с разрывателями разного типа. Высокие эксплуатационные затраты
Механический	Высокая производительность по сравнению с ручным способом выполнения	Высокие капитальные затраты
Разрывателем пакетов, оснащенным барабанными и стационарными ножами	Обладает меньшей энергоемкостью по сравнению с разрывателями, оснащенными билами. Позволяет только разрывать пакеты	Происходит наматывание длинномерных компонентов на барабан
Разрывателем пакетов, оснащенным качающимися ножами	Обладает меньшей энергоемкостью по сравнению с разрывателями, оснащенными билами. Позволяет только разрывать пакеты. Для увеличения производительности можно добавить дополнительные секции загрузки (блок разрывания, который включает в себя качающие ножи)	Сложность конструкции, а следовательно, высокие затраты на обслуживание оборудования
Разрывателем пакетов, оснащенным билами	Позволяет не только разрывать пакеты с ТКО, но и дробить на более мелкие гранулы	Высокий уровень энергоемкости за счет дробления отходов

Алгоритм проектирования мусоросортировочного комплекса с использованием каталога технических и технологических решений представлен на рис. 5.

Разработанный алгоритм позволяет выбрать оптимальную технологическую схему сортировки ТКО с правильно подобранным оборудованием на каждом подэтапе процесса с учетом его технических и технологических характеристик, а также сравнительных особенностей разного типа оборудования.

Каталог технических и технологических решений может применяться на существующих предприятиях, осуществляющих деятельность по обработке и сортировке отходов, в том числе муниципальных и ТКО. Полученные решения могут быть использованы при разработке проектной документации для новых мусоросортировочных комплексов, также при разработке региональных технологических схем обращения с отходами (муниципальными, твердыми коммунальными и другими), при модернизации и расширении существующих объектов по обращению с отходами.

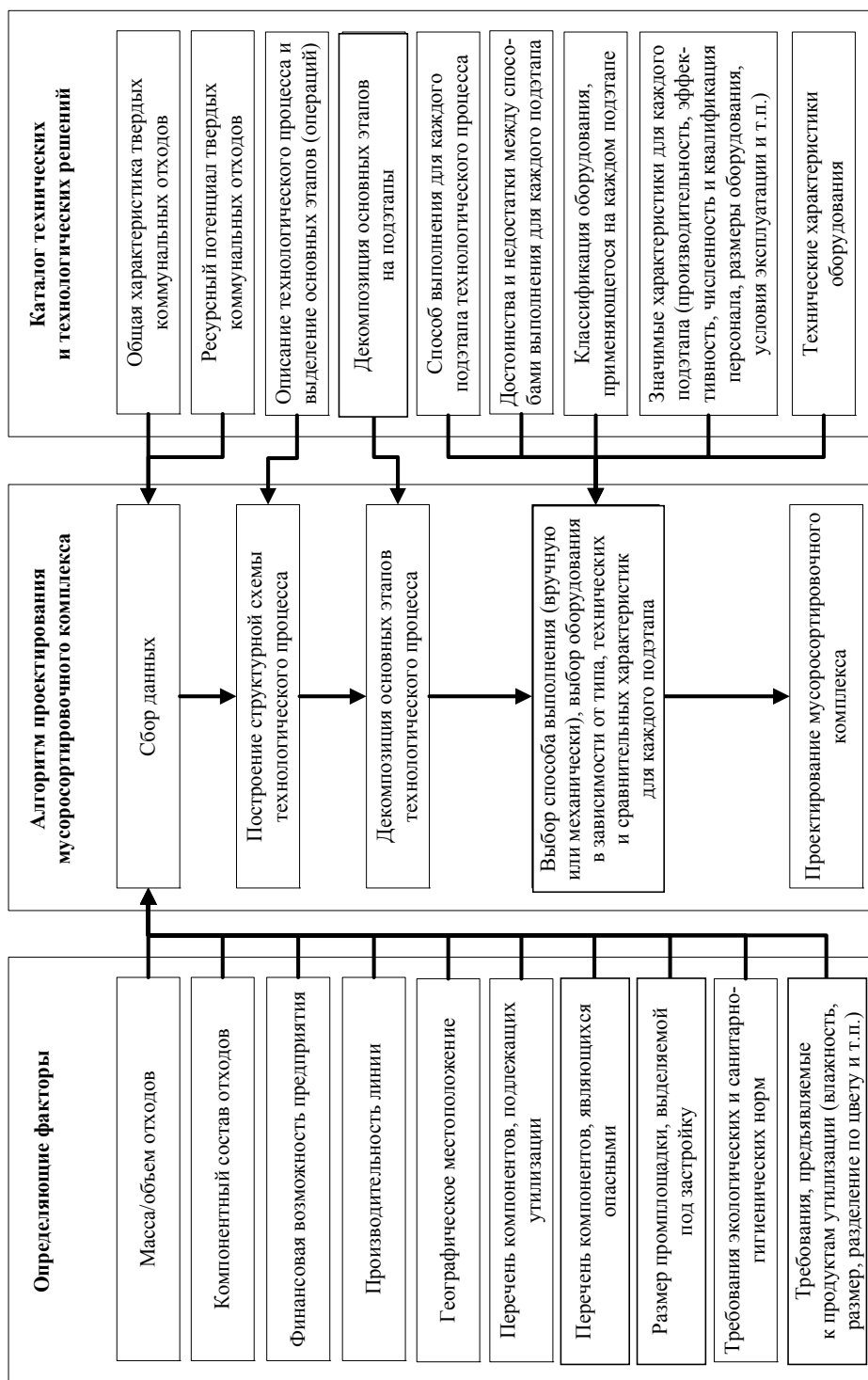


Рис. 5. Алгоритм проектирования мусоросортировочного комплекса с использованием каталога технических и технологических решений

Представленные решения предназначены также для специалистов, которые организуют и контролируют деятельность по обращению с отходами (администрации населенных пунктов, службы жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства территории и т.п.). Технические и технологические решения могут использовать производители оборудования для улучшения технических характеристик выпускаемого оборудования. Каталог технических и технологических решений может использоваться в учебном процессе при обучении студентов соответствующих направлений, в курсах лекций для подготовки специалистов природоохранных служб.

Библиографический список

1. ИТС 15-2016. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)) [Электронный ресурс]: информ.-техн. справ. / Федер. агентство по техн. регулированию и метрологии «Росстандарт». – М., 2016. – URL: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/ndt/sprav_NDT_2016 (дата обращения: 23.01.2017).
2. Завьялов С.В. Территориальные схемы: промежуточные итоги // Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 12. – С. 26–29.
3. Медников О.А., Поляков С.Ю. Актуальные вопросы организации территориальных схем обращения с отходами // Научный альманах. – 2016. – № 7-1 (21). – С. 126–130.
4. Электронная модель территориальной схемы обращения с отходами / В.Н. Коротаев, Ю.В. Куликова, Н.Н. Слюсарь, Г.В. Ильных // Твердые бытовые отходы. – 2016. – № 7. – С. 20–23.
5. Лапова Е.В., Нор П.Е. Проблемы реализации нового законодательства об отходах // Безопасность городской среды: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Ярославль, 2017. – С. 257–262.
6. Не успевают утвердить территориальные схемы обращения с отходами более 50 регионов России [Электронный ресурс] // Экологический вестник России. – URL: <http://ecovestnik.ru/index.php/novosti/aktualno/2537-ne-uspevayut-utverdit-territorialnye-skhemu-obrashcheniya-s-otkhodami-bolee-50-regionov-rossii> (дата обращения: 02.02.2017).
7. Территориальная схема обращения с отходами, в том числе с ТБО [Электронный ресурс] / М-во стр. и жилищ.-ком. х-ва Пермского края. – URL: <http://msgkh.permkrai.ru/obrashchenie-s-otkhodami-v-tom-chisle-tverdymi-kom/territorialnaya-skema-obrashcheniya-s-otkhodami-v-tom-chisle-s-tbo/> (дата обращения: 26.01.2017).
8. Концепция управления твердыми бытовыми отходами [Электронный ресурс] / Л.Я. Шубов [и др.]. – М., 2000. – URL: <http://www.waste.ru> (дата обращения: 10.09.2015).
9. Управление отходами. Сбор, транспортирование, прессование, сортировка твердых бытовых отходов: моногр. / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 236 с.
10. Ильных Г.В., Коротаев В.Н. Использование данных о морфологическом составе ТБО при технико-экономическом обосновании технологий обращения с отходами // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – С. 178–187.
11. Оптико-механическая сортировка отходов: перспективы использования / Г.В. Ильных, Д.Л. Борисов, Ю.В. Куликова, В.Н. Коротаев // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 10 (88). – С. 35–39.
12. Каталог технических и технологических решений при проектировании мусороперерабатывающих предприятий [Электронный ресурс] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – URL: [http://pstu.ru/files/file/adm/fakultety/katalog_tehnicheskikh_i_tehnologicheskikh_resheniy_dlya_proektirovaniya_musoropererabatyvayuschih_predpriyatij\(1\).pdf](http://pstu.ru/files/file/adm/fakultety/katalog_tehnicheskikh_i_tehnologicheskikh_resheniy_dlya_proektirovaniya_musoropererabatyvayuschih_predpriyatij(1).pdf)

13. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 520 с.

14. Баканов М.И., Мельник М.В., Шеремет А.Д. Теория экономического анализа: учеб. / под ред. М.И. Баканова. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 536 с.

15. Коробко В.И., Бычкова В.А. Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство: моногр. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 131 с.

16. Польшгалов С.В., Ильиных Г.В., Коротаев В.Н. Комплексный подход к промышленной сортировке твердых бытовых отходов // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – С. 123–127.

References

1. Informacionno-tehnicheskij spravocnik po nailuchshim dostupnym tehnologijam ITS-15-2016 «Utilizacija i obezvezhivanie othodov (krome obezvezhivanija termicheskim sposobom (szhiganie othodov)). Federal'noe agentstvo po tehnicheskomu regulirovaniju i metrologii «Rosstandart», 2016, available at: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/ndt/sprav_NDT_2016 (accessed 23 January 2017).

2. Zavjalov S.V. Territorial'nye shemy: promezhutochnye itogi [Territorial schemes: interim results]. *Tverdye bytovye othody*, 2016, no. 12, pp. 26-29.

3. Mednikov O.A., Poljakov S.Ju. Aktual'nye voprosy organizacii territorial'nyh shem obrashhenija s othodami [The actual questions of territorial plans for waste management]. *Nauchnyj al'manah*, 2016, no. 7-1 (21), pp. 126-130.

4. Korotaev V.N., Kulikova Ju.V., Sljusar N.N., Ilinyh G.V. Jelektronnaja model' territorial'noj shemy obrashhenija s othodami [Electronic model of the territorial scheme of waste management]. *Tverdye bytovye othody*, 2016, no. 7, pp. 20-23.

5. Lapova E.V., Nor P.E. Problemy realizacii novogo zakonodatel'stva ob othodah [The problems of implementation of the new legislation on waste]. *Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Bezopasnost' gorodskoj sredy»*. Omsk, 2017, pp. 257-262.

6. Ne uspevajut utverdit' territorial'nye shemy obrashhenija s othodami bolee 50 regionov Rossii. *Jekologicheskij vestnik Rossii*, available at: <http://ecovestnik.ru/index.php/novosti/aktualno/2537-ne-uspevajut-utverdit-territorialnye-skhemy-obrashcheniya-s-otkhodami-bolee-50-regionov-rossii> (accessed 2 February 2017).

7. Territorial'naja shema obrashhenija s othodami, v tom chisle s TBO. Ministerstvo stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo hozjajstva Permskogo kraja, available at: <http://msgkh.permkrai.ru/obrashchenie-s-otkhodami-v-tom-chisle-tverdymi-kom/territorialnaya-skhema-obrashcheniya-s-otkhodami-v-tom-chisle-s-tbo/> (accessed 26 January 2017).

8. Shubov L.Ja. Koncepcija upravlenija tverdymi bytovymi othodami [The concept of solid waste management]. Moscow, 2000, available at: <http://www.waste.ru> (accessed 25 January 2017).

9. Vajsman Ja.I. Upravlenie othodami. Sbor, transportirovanie, pressovanie, sortirovka tverdyh bytovyh othodov [Waste management. Collection, transportation, pressing, sorting of solid domestic waste]. Perm, 2012. 236 p.

10. Ilinyh G.V., Korotaev V.N. Ispol'zovanie dannyh o morfoloicheskom sostave TBO pri tehniko-jeconomicheskom obosnovanii tehnologij obrashhenija s othodami [The use of data on the morphological composition of MSW in the feasibility study of waste management technologies]. *Materialy konferencii «Modernizacija i nauchnye issledovanija v transportnom komplekse»*. Perm, 2013, pp. 178-187.

11. Ilinyh G. V., Borisov D.L., Kulikova Ju.V., Korotaev V.N. Optiko-mehaničeskaja sortirovka othodov: perspektivy ispol'zovanija [Optical-mechanical sorting of waste: the perspectives]. *Tverdye bytovye othody*, 2013, no. 10 (88), pp. 35-39.

12. Katalog tehnicheskij i tehnologicheskij reshenij pri proektirovanii musoropererabatyvajushchih predpriyatij. Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politehnicheskij universitet, available at: [http://pstu.ru/files/file/adm/fakultety/katalog_tehnicheskij_i_tehnologicheskij_reshenij_dlya_proektirovanija_musoropererabatyvajuschih_predpriyatij\(1\).pdf](http://pstu.ru/files/file/adm/fakultety/katalog_tehnicheskij_i_tehnologicheskij_reshenij_dlya_proektirovanija_musoropererabatyvajuschih_predpriyatij(1).pdf)

13. Volkova V.N., Denisov A.A. Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza [Fundamentals of the theory of systems and system analysis]. Saint-Petersburg: Izdatel'stvo SPbGPU, 2003. 520 p.

14. Bakanov M.I., Melnik M.V., Sheremet A.D. Teorija jekonomicheskogo analiza [The theory of economic analysis]. Moscow: Finansy i statistika, 2004. 536 p.

15. Korobko V.I., Bychkova V.A. Tverdye bytovye othody. Jekonomika. Jekologija. Predprinimatelstvo [Municipal solid waste. Economy. Ecology. Entrepreneurship]. Moscow: JuNITI-DANA, 2012. 131 s.

16. Polygalov S.V., Ilinyh G.V., Korotaev V.N. Kompleksnyj podhod k promyshlennoj sortirovke tverdyh bytovyh othodov [An integrated approach to industrial sorting solid waste]. *Jekologija i nauchno-tehnicheskij progress. Urbanistika: materialy XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*, Perm, 2014, pp. 123-127.

Получено 11.12.2016

S. Polygalov

SYSTEMATIZATION OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR SORTING OF MUNICIPAL SOLID WASTE

In this article, technical and technological solutions applied when selecting the equipment for the construction of new waste sorting plants, as well as when expanding and reconstructing of the existing plants for sorting of municipal solid waste (MSW) have been systematized. Technical and technological solutions are brought together in an overall catalogue, based on system and structural analysis of the sorting process. The proposed catalogue of technical and technological solutions allows selecting an optimal configuration of MSW sorting line, and also assessing the quantity and the quality of input and output flows of waste and secondary raw materials.

In the paper the main stages of MSW sorting and decomposition of these stages into more detailed operations (sub-stages) are presented. The main stages of MSW sorting include preparation of MSW, basic sorting of MSW, preparation of secondary raw materials for sale, utilization of residual resource potential, processing of bulky waste, fine fraction and hazardous materials.

For each stage, the significant characteristics of the process have been defined: productivity, efficiency, consumption of electricity and other resources, capital and operating costs, operating conditions (requirements for location, temperature, surface coverage, etc.), required number of employees and their qualification, size of equipment and the required area. For each technological operation, the most suitable ways of its implementation depending on the technical characteristics, advantages and disadvantages of different equipment are proposed.

Keywords: municipal solid waste, refused-derived fuel, technical and technological solutions, technological scheme of waste sorting.

Полигалов Степан Владимирович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Polyste17@mail.ru).

Polygalov Stepan (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student of Department "Environmental Protection", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Polyste17@mail.ru).