

**Предложения по разработке основ системы обращения с твердыми коммунальными отходами**

Бабанин Игорь Валентинович,  
генеральный директор ООО “Точка сбора” (Санкт-Петербург)

В 2008 году автором была подготовлена исследовательская работа «Мусорная революция» [1]. Задачей работы 2008 года был поиск наиболее экономически обоснованных методов переадресации отходов со свалок при минимальных экологических издержках. При этом уже тогда, как и сейчас, было ясно, что все способы обращения с отходами обходятся дороже их простого захоронения (если не принимать во внимание экстернальные издержки, такие как запах с Кучинской свалки, повышение уровня онкологических заболеваний вблизи МСЗ, деградация природных ландшафтов при добыче первичных материальных ресурсов вместо вторичных и т.п.).

Все методики обращения с отходами сравнивались по их эффективности с точки зрения уменьшения объема отходов — ведь именно объем влияет на выделение места для их захоронения и является объектом приложения усилий коммунальных служб. При этом ожидалось, что в оптимальную систему обращения с отходами будет заложена возможность для перехода к долгосрочному управлению отходами, предусматривающему в перспективе реализацию принципа Ноль отходов [2].

Поставленные задачи были выполнены. Кроме того, удалось предложить такой набор технологических операций, который позволял без серьезной перестройки предприятий и оборудования наращивать долю их полезного использования как за счет отдельного сбора, так и за счет совершенствования процессов промышленной переработки (что невозможно при сжигании отходов, являющемся методом уничтожения подавляющей массы потенциальных вторичных ресурсов без возможности переналадки, но с необходимостью поставлять отходы на сжигание на весь период многолетнего контракта).

За прошедшее десятилетие властями (как федеральными, так и региональными/местными) не было предпринято никаких практических попыток переломить ситуацию, и к 2018 году страна пришла с частично выведенными из эксплуатации, частично переполненными (со слов тех же властей) полигонами. Впрочем, в официальных заявлениях как тогда, так и сейчас звучит фраза о том, что «полигоны переполняются через 3–4 года», что говорит о невладении лицами, принимающими решения, реальной ситуацией.

В этих условиях мы посчитали необходимым издать новый вариант «Мусорной революции». Подход к проблеме в новой версии полностью идентичен предыдущему. Основными же отличиями являются:

- практическая реализуемость всех предлагаемых мероприятий за предлагаемые средства, иными словами автор готов в любой момент приступить к реализации изложенных планов при условии обеспечения запрашиваемых тарифов;

- выбор для оценки, возможно, не оптимальных, но хорошо известных автору технологий, что, в свою очередь, предполагает возможность существования более экономичных способов достижения поставленных задач;

- за прошедшее десятилетие морфологический состава отходов стал беднее. Это связано со значительным ростом уровня «латентной» переработки, то есть потерь вторичного сырья в контейнерах за счет его изъятия гражданами и организациями для продажи, минуя организатора системы сбора;

- обновление экономических показателей с учетом изменений цен и курсов валют.

Предлагаемая схема может быть использована как матрица для подстановки в нее исходных данных, соответствующих местным условиям, и получения на выходе предварительного экономического обоснования комплексной системы обращения с отходами для рассматриваемого региона.

### **Термины и определения**

*ТКО, отходы потребления, отходы* — твердые коммунальные отходы.

*Коммунальные службы* — любые организации, отвечающие за удаление ТКО из придомовых территорий.

*Переадресация отходов* — предотвращение попадания определенного объема отходов на захоронение.

*Уровень переадресации (отходов)* — процентное отношение объема отходов, в отношении которых удалось выполнить переадресацию, к первоначальному объему образовавшихся отходов.

*Стоимость переадресации* — стоимость переадресации 1 м<sup>3</sup> отходов

*Складочная плотность* — плотность неуплотненного скопления с учетом пустот.

*«Сухие» отходы, или вторичные материальные ресурсы* — все отходы, которые при выделении и группировке могут быть использованы как сырьё для промышленности: бумага, стекло, металлы, полимеры и др.

*«Влажные», или биоразлагаемые отходы* — отходы, которые могут быть подвергнуты биологическому разложению: органические отходы, дерево, бумага.

*«Прочие» отходы* — отходы, не вошедшие в первую или вторую группу.

*Тариф* — величина средств, которые должен заплатить собственник отходов для их переработки по конкретной технологии. В тариф включается необходимая компенсация выпадающих доходов, связанная с применением данного технологического решения и нормативная прибыль. Принято, что стоимость транспортировки отходов идентична во всех случаях и в величину тарифа не включена.

*МСЗ, мусоросжигательный завод* — предприятие, осуществляющее термическое разложение отходов, в том числе на колосниковой решетке, методом пиролиза, плазменной газификации и т.д.

### **Предмет и задачи настоящей работы**

По данным Министерства природных ресурсов [3], отходы, образовавшиеся в РФ в 2015 году, разделялись по видам следующим образом:

- отходы горнодобывающей промышленности (92%),
- отходы производства и связанных отраслей (7%),
- твердые коммунальные отходы (ТКО), или отходы потребления (1%).

Несмотря на свою малую часть, отходы потребления требуют особого внимания. С одной стороны, они представлены в основном отслужившими товарами, ради производства которых и образуются отходы первой и второй групп. Возвращая эти отходы в хозяйственный оборот, мы косвенно влияем и на снижение образования первой и второй группы. С другой стороны, необдуманные решения (либо отсутствие каких-либо решений) по ТКО со стороны органов власти вызывают основные экологические проблемы в местах проживания подавляющей части населения, а также основные общественные конфликты, например связанные со строительством и эксплуатацией МСЗ или полигонов.

В настоящей работе мы ограничиваемся рассмотрением ТКО. В рамках работы понятия «ТКО», «отходы потребления» и «отходы» — равнозначны. В работу не включены также опасные отходы потребления.

С точки зрения из образования, отходы потребления — это сосредоточение полезных материалов, используемых в товарах народного потребления. Исходя из этого, трудно представить какую-то их составляющую, которую нельзя при определенных условиях вовлечь в хозяйственный оборот. Для исследования отходов с этой стороны важен их морфологический состав.

С точки зрения удаления, отходы — это проблема коммунальных служб, отвечающих за санитарное состояние населенных пунктов, поскольку представляют собой материалы, которые стали по тем или иным причинам не нужны их собственникам и должны регулярно удаляться. В этом случае имеет

значение их объем, поскольку он определяет расходы на транспортировку, а также на выделение места для захоронения.

Очевидно, часть отходов вовлекается в хозяйственный оборот еще до попадания в коммунальные мусорные контейнеры. Для таких отходов характерно то, что стоимость материалов или изделий, их составляющих, превышает затраты по сбору и реализации (например, легко извлекаемая часть картона или алюминиевых банок). Не важно, происходит ли это организованно или стихийно. В любом случае, мы не рассматриваем их в настоящем исследовании: во-первых, эти отходы не создают коммунальных проблем, во-вторых, их очень сложно учесть в общем потоке.

Таким образом, здесь рассматриваются только отходы, накапливаемые в мусорных контейнерах. С достаточной точностью можно сказать: для таких отходов стоимость вовлечения в хозяйственный оборот превышает рыночную цену выделяемых из них материалов, что требует установления платы за обращение с ними.

**Очевидно, для коммунальных служб экономически оптимальной схемой будет внедрение наименее затратных способов снижения объема отходов, требующих окончательного захоронения, в значительной степени (но не только) — за счет выделения и реализации на рынке полезных материалов, извлеченных из отходов. Поиск такой схемы и является задачей настоящего исследования.**

### **Исходные данные**

Для нашего исследования нам понадобятся:

- морфологический состав отходов,
- плотность отходов и их компонентов,
- объединенные по основным группам технологии обращения с отходами,
- стоимость этих групп технологий (тариф),
- эффективность групп технологий по снижению объема отходов.

*Морфологический состав* отходов варьируется от региона к региону. Для нашего случая он принят согласно [5] и представлен в таблице 1. Это единственные данные, которые удалось обнаружить в официальных документах, они достаточно близки к практическим данным. Кроме того, состав отходов значительно беднее рассмотренного в Исследовании «Мусорная революция» 2008 года. Очевидно, более богатый состав отходов (как, безусловно, в Московском регионе, образующем около 20% всех отходов РФ) будет приводить к лучшим результатам.

*Складочная плотность* отходов [4] также взята по данным [5] и равна 153 кг/ м<sup>3</sup>. По оценкам ряда операторов обращения с отходами, эта цифра

завышена. Очевидно, меньшая плотность отходов приведет к лучшим результатам.

Плотности слагаемых компонентов (фракций) приняты в основном по результатам собственных исследований [6]. Плотности компонентов, по которым отсутствуют данные, приняты равными общей ( $153 \text{ кг/м}^3$ ). Их доля

**Таблица 1. Морфологический состав отходов по массе и объему**

	Массовая доля, %	Масса в 1 куб, кг	Плотность осредненная	Объемная доля, % в кубе
Органические отходы	27,4%	41,922	500	8,4%
Дерево	2,5%	3,825	500	0,8%
Бумага и картон	21,5%	32,895	110	29,9%
Цветные металлы	3,8%	5,814	153	3,8%
Черные металлы	0,8%	1,224	153	0,8%
Стекло	8,9%	13,617	250	5,4%
Полимеры	15,2%	23,256	55	42,3%
Текстиль, кожа, резина	4,3%	6,579	153	4,3%
Инертные материалы	12,8%	19,584	1000	2,0%
Прочие материалы	2,8%	4,284	153	2,8%
<b>ИТОГО</b>	<b>100%</b>	<b>153</b>	<b>153</b>	<b>100%</b>

составляет лишь 12% от массы всех материалов.

Для целей дальнейшего исследования отходы объединены в три группы по принципу единства подходов к обращению с ними:

- «сухие» отходы, или вторичные материальные ресурсы — все отходы, которые при выделении и группировке могут быть использованы как сырьё для промышленности: бумага, стекло, металлы, полимеры и др.;

- «влажные», или биоразлагаемые отходы – отходы, которые могут быть подвергнуты биологическому разложению: органические отходы, дерево, бумага;

- «прочие» отходы — не вошедшие в первую или вторую группу.

Очевидно, в одних процессах фракции могут приписываться к одним группам, а в других — к другим, а также делиться между ними. При всем многообразии, *технологии обращения с отходами*, позволяющие снизить их массу и объем, можно объединить в 6 технологических приемов:

- сортировка смешанных отходов с выделением однородных фракций, имеющих рыночную стоимость;

- сортировка «сухих» вторичных материальных ресурсов, собранных отдельно от органической фракции и непригодных к переработке отходов;

- биологическое разложение смешанных отходов (аэробное или анаэробное);

- то же для отдельно собранной, выделенной из общего потока органической фракции;
- снижение объема отходов без изменения их состава (прессование либо компактирование отходов);
- термическое разложение (сжигание, пиролиз, термолиз и т. д.) отходов либо их отдельно собранных или отсортированных фракций (RDF, SRF) и т. д. (также официально называемое термическим обезвреживанием).

Каждый технологический прием такого рода условно можно рассматривать как черный ящик, в который поступает определенный объем отходов и определенный объем средств. На выходе из него мы имеем уменьшенный объем отходов и, возможно, некий полезный продукт.

Исходя из поставленной нами задачи, для сравнения этих технологических приемов важны следующие показатели:

- тариф, который должен заплатить собственник отходов при их передаче на обработку;
- снижение объема отходов, которое может быть достигнуто за счет применения данного технологического приема. Долю уменьшения объема мы будем называть уровнем переадресации;
- стоимость каждого кубометра разницы между входящим и выходящим объемом. Стоимость снижения объема отходов на  $1 \text{ м}^3$  мы будем называть стоимостью переадресации.

Указанные показатели приведены в таблице 2. Где имеется возможность, эти данные рассчитаны для современных российских условий, исходя из имеющейся практики, а в остальных случаях — на основе стоимостных и эксплуатационных показателей оборудования, предлагаемого к реализации в России. Была проведена сверка и установлена достаточно хорошая корреляция с зарубежными данными [7].

Столбцы «снижение объема отходов» и «остаточный объем» жестко связаны и приводятся одновременно только с целью избежать путаницы. Данные, указанные в этих столбцах, приводятся для общей информации. Они показывают, насколько можно снизить объем *всех* отходов, если применить к ним данный технологический прием отдельно от других. В случаях с предварительным отдельным сбором цифры также представляют собой процентное отношение к объему всех отходов, а не конкретной отдельно собранной фракции.

Комбинирование технологических приемов может снижать показатели некоторых из них (поскольку те же фракции будут вовлечены в другие процессы). Кроме того, некоторые приемы нельзя (или нецелесообразно)

использовать по отдельности (как, например, прессование отходов, не подвергшихся биологическому разложению, так оно приведет к замедлению, но не прекращению их активности при захоронении). Этому вопросу будет посвящен следующий раздел.

**Таблица 2. Стоимости технологических приемов обращения с отходами и их результативность**

Технологические приемы обращения с отходами	Плата за обращение с отходами руб./т входящих отходов	Снижение объема (% от исходного)	Остаточный объем (% от исходного)	Источники данных
Сортировка «сухих» вторичных материальных ресурсов*	330	60–65%	35–40%	Практические производственные результаты говорят о том, что сортировка «сухих» вторичных материальных ресурсов (без учета транспортных расходов, как и для всех прочих приемов) является самокупаемой операцией и не требует установления платы за обращение с отходами. При этом плата за обращение с отходами в размере ок. 50 руб./м <sup>3</sup> была установлена здесь в связи с ростом затрат на сбор отходов из-за разделения потоков и необходимости работы с населением. Снижение объема рассчитано по данным [8]. Для данного примера была рассмотрена ручная сортировка без применения технических средств. Вопрос о том, являются ли средства механизации, от сортировочных линий до технологий автоматической аппаратной сортировки, более выгодными по сравнению с ручной сортировкой, остается открытым. В случае экономической обоснованности возможно применение таких средств механизации.
Прессование	770	60–75%	25–40%	Данные рассчитаны на основании практических результатов эксплуатации прессы Presona LP-50 VH2 [9] производительностью 50 тонн с необходимой инфраструктурой, обслуживающим персоналом и пр. в ходе прессования макулатуры и полимеров. Учтены поправки на плотность отходов. Существуют прессы той же фирмы с почти трехкратно большей производительностью, а, следовательно, меньшими удельными расходами. Таким образом, плата за обращение с отходами принята нами с запасом.
Сортировка смешанных отходов	1800	15–25%	75–85%	Плата за сортировку смешанных отходов принята по аналогичным данным для отдельно собранных отходов (без дополнительных затрат на сбор и работу с населением), но с учетом меньшего выхода вторичного сырья, принятого по [8]. Дополнительно учтены затраты, связанные с реализацией мер защиты персонала от опасных отходов и (или) механизации и автоматизации в размере 1000 руб./т поступающих отходов.

Раздельный сбор и биологическое разложение*	4400	8–15%**	85–92%	Этот технологический прием предусматривает отдельный сбор «влажных» отходов и их биологическое разложение. На российском рынке в настоящий момент представлены установки для биологического разложения отходов лишь малой мощности [10, 11, 12]. Учтены необходимая инфраструктура, персонал, а также доход от реализации продукции (компоста) [13]. Очевидно, имеется большое поле возможностей для снижения данного тарифа за счет роста единичной мощности.
Биологическое разложение смешанных отходов	4800	30–35%	65–70%	Плата за обращение с отходами рассчитана из предыдущей, при условии отсутствия рынка для реализации продукции. Цель метода в данном случае — в снижении массы, объема и биологической активности отходов перед захоронением. Между тем, компост из смешанных отходов может находить применение для рекультивации техногенно нарушенных территорий, перекрытия слоев отходов на полигонах, биотоплива для теплиц и т.д., что позволит снизить тариф.
Термическое разложение	10700	88–92%	8–12%	Рассчитано, исходя из данных [14] табл. 2 для МСЗ, планируемых к строительству согласно федеральной программе «Чистая страна». В данной работе основное финансирование предусмотрено за счет продажи Договоров предоставления мощности (ДПМ) для МСЗ как возобновляемого источника энергии. Фактически МСЗ таковым не является, поскольку, во-первых, основная масса горючего вещества является ископаемой, во-вторых, переработка вторичного сырья позволяет сэкономить гораздо больше энергии, чем будет получено при его сжигании. Здесь необходимый тариф пересчитан без учета ДПМ. Следует отметить, что в [15], изданном позже, чем [14], предусмотрен дальнейший рост капитальных вложений, а, следовательно, рассчитанный тариф достаточно консервативен.

\* - Для раздельно собираемых фракций имеется в виду доля от всей массы отходов, а не только обрабатываемой фракции.

\*\* - Такой низкий уровень переработки связан с тем, что при раздельном сборе экономически обоснован сбор бумаги в качестве вторичного сырья на сортировку

Выявлению оптимальной схемы комбинирования технологических приемов посвящен следующий раздел.

### **Схемы комплексной переработки отходов**

Термическое разложение отходов позволяет достичь наибольшего результата за единый технологический прием. В то же время, это самый дорогой способ. Очевидно, прочие методы обращения с отходами можно комбинировать между собой так, чтобы каждый из них дополнял другой в общей цели снижения объема остаточных отходов, с получением в итоге лучшего значения по показателю цена — результат.

При составлении оптимальной комплексной схемы переработки коммунальных отходов следует:

- применять в первую очередь технологии с минимальными затратами на единицу снижения объема отходов, и только после их полного внедрения для всего объема городских отходов применять более затратные;

- осуществлять ввод технологий очередями, так, чтобы введенные в строй предприятия могли функционировать самостоятельно, до введения следующих очередей;

- применять технологии в такой последовательности, чтобы вводимые на более ранних этапах не препятствовали внедрению технологий на последующих этапах;

- остаточные отходы после применения комплекса технологических методов должны представлять собой инертную массу, не способную к биологическому разложению, с минимизацией химического загрязнения.

Исходя из сформулированных принципов, можно предложить две схемы переработки отходов:

- последовательная схема обработки единого потока смешанных отходов, состоящая из сортировки — биологического разложения (МПБ) — прессования (рис. 1)

- параллельная схема обработки отдельно собранных потоков (рис. 2)



**Рис. SEQ "Иллюстрация" \\*Arabic 1: Последовательная схема переработки потока**

Очевидно, начинать реализацию комплексной программы следует с внедрения последовательной схемы переработки смешанных отходов. Одновременно с реализацией последовательной схемы (но не до нее) следует внедрять отдельный сбор отходов по трем фракциям:

- «сухие» вторичные материальные ресурсы;
- «влажные» биоразлагаемые отходы;
- прочие отходы.

По мере развития этой системы можно частично или полностью переводить уже созданные предприятия по сортировке и биологическому разложению смешанных отходов на прием отдельно собранных отходов. При этом схема последовательной работы с единым потоком отходов превратится в схему параллельной обработки трех потоков отходов. Соответственно,

практически без дополнительных капитальных вложений снизится потребность в мощностях, вырастет их экономическая эффективность и отдача (рис. 2).



**Рис. SEQ "Иллюстрация" \\*Arabic 2: Параллельная схема переработки потоков отдельно собранных отходов.**

### Балансы масс и объемов

Массовый и объемный балансы последовательной и параллельной схем переработки отходов составлены на основании принятого для нашего

исследования морфологического состава отходов по массе и объему (см. Таблицу 1) и представлены в таблицах 3 и 4.

Расчет массового и объемного балансов производился при следующих исходных данных:

- коэффициенты извлечения каждого из компонентов вторичных ресурсов при сортировке смешанных и отдельно собранных отходов, равные доле извлеченной части компонента от доли его общего содержания в отходах приняты по [8];

- потеря массы органики при биологическом разложении принята равной 75%. Согласно техническим характеристикам оборудования SET [11], выбранного в качестве эталона, снижение массы колеблется в пределах 75–90%. Для наших расчетов взята консервативная величина;

- плотность обезвоженного компоста по результатам собственных исследований определена в 300 кг/м<sup>3</sup>;

- предполагается, что компост от смешанных отходов захоранивается, компост от отдельно собранных отходов реализуется как вторичный материальный ресурс;

- при переработке смешанных отходов остатки бумаги от сортировки подвергаются компостированию, а при переработке отдельно собранных отходов — прессованию;

- плотность кип прессованных вторичных отходов принята равной 200 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует плотности кип полимеров (справочно: плотности кип бумаги составляют ок. 400 кг/м<sup>3</sup>);

- принято, что инертные материалы представлены в основном грунтом, камнями и строительными отходами, проходящими без каких-либо изменений параметров транзитом как в последовательной, так и в параллельной схеме переработки отходов;

- принято, что остатки стекла, не извлеченного из потока при сортировке, разбиваются и присоединяются к инертным отходам.

Цветовые маркировки в таблицах обозначают применение каждой фракции того или иного технологического приема (вне зависимости от того, видоизменяется он в рамках этого приема или проходит транзитом):

**синим** обозначено прохождение этапа сортировки;

**зеленым** - прохождение биологического разложения;

**красным** - этапа прессования.

Таблица 3. Материальный баланс последовательной схемы переработки смешанных отходов

	Массовая доля, %	Объемная доля, % в кубе	К-т извлечения	Выход вторресурса по массе при сортировке	Выход вторресурса по объему при сортировке	Массовая доля на биологическое разложение	Объемная доля на биологическое разложение	Массовая доля остатка после биологического разложения (потеря массы 75%)	Плотность после биологического разложения	Объемная доля остатка после биологического разложения	Массовая доля хвостов на полигон.	Плотность при прессовании (уплотнении)	Объемная доля отходов направляемых на захоронение.
Органические отходы	27,4%	8,4%		0,0%	0,0%	27,4%	8,4%	6,9%	300	3,5%	6,9%	300	3,5%
Дерево	2,5%	0,8%	0,31	0,8%	0,2%	1,7%	0,5%	0,4%	300	0,2%	0,4%	300	0,2%
Бумага и картон	21,5%	29,9%	0,12	2,6%	3,6%	18,9%	26,3%	4,7%	300	2,4%	4,7%	300	2,4%
Цветные металлы	3,8%	3,8%	0,24	0,9%	0,9%	2,9%	2,9%	2,9%	153	2,9%	2,9%	200	2,2%
Черные металлы	0,8%	0,8%	0,36	0,3%	0,3%	0,5%	0,5%	0,5%	153	0,5%	0,5%	200	0,4%
Стекло	8,9%	5,4%	0,68	6,1%	3,7%	2,8%	1,7%	2,8%	1000	0,4%	2,8%	1000	0,4%
Полимеры	15,2%	42,3%	0,16	2,5%	6,8%	12,7%	35,5%	12,7%	55	35,5%	12,7%	200	9,8%
Текстиль, кожа, резина	4,3%	4,3%	0,22	0,9%	0,9%	3,4%	3,4%	3,4%	153	3,4%	3,4%	200	2,6%
Инертные материалы	12,8%	2,0%		0,0%	0,0%	12,8%	2,0%	12,8%	1000	2,0%	12,8%	1000	2,0%
Прочие материалы	2,8%	2,8%		0,0%	0,0%	2,8%	2,8%	2,8%	153	2,8%	2,8%	200	2,1%
<b>ИТОГО</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>		<b>14,0%</b>	<b>16,5%</b>	<b>86,0%</b>	<b>83,9%</b>	<b>50,0%</b>		<b>53,6%</b>	<b>50,0%</b>		<b>25,6%</b>

Таблица 4. Материальный баланс параллельной схемы переработки потоков раздельно собранных отходов.

	Массовая доля, %	Объемная доля, % в кубе	К-т извлечения	Выход вторресурса по массе при сортировке	Выход вторресурса по объему при сортировке	Массовая доля на биологическое разложение	Объемная доля на биологическое разложение	Массовая доля остатка после биологического разложения (потеря массы 75%)	Плотность после биологического разложения	Объемная доля остатка после биологического разложения	Массовая доля хвостов на полигон.	Плотность при прессовании (уплотнении)	Объемная доля отходов направляемых на захоронение.
Органические отходы	27,4%	8,4%		0,0%	0,0%	27,4%	8,4%	0,0%	300	0,0%	0,0%	300	0,0%
Дерево	2,5%	0,8%	0,31	0,8%	0,2%	1,7%	0,5%	0,0%	300	0,0%	0,0%	300	0,0%
Бумага и картон	21,5%	29,9%	0,89	19,2%	26,7%	2,3%	3,2%	2,3%	110	3,2%	2,3%	200	1,8%
Цветные металлы	3,8%	3,8%	0,36	1,4%	1,4%	2,4%	2,4%	2,4%	153	2,4%	2,4%	200	1,8%
Черные металлы	0,8%	0,8%	1,00	0,8%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	153	0,0%	0,0%	200	0,0%
Стекло	8,9%	5,4%	0,68	6,1%	3,7%	2,8%	1,7%	2,8%	250	1,7%	2,8%	1000	0,4%
Полимеры	15,2%	42,3%	0,60	9,1%	25,4%	6,1%	16,9%	6,1%	55	16,9%	6,1%	200	4,7%
Текстиль, кожа, резина	4,3%	4,3%	1,00	4,3%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	153	0,0%	0,0%	200	0,0%
Инертные материалы	12,8%	2,0%		0,0%	0,0%	12,8%	2,0%	12,8%	1000	2,0%	12,8%	1000	2,0%
Прочие материалы	2,8%	2,8%		0,0%	0,0%	2,8%	2,8%	2,8%	153	2,8%	2,8%	200	2,1%
<b>ИТОГО</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>		<b>41,6%</b>	<b>62,5%</b>	<b>58,4%</b>	<b>37,9%</b>	<b>29,2%</b>		<b>29,0%</b>	<b>29,2%</b>		<b>12,8%</b>

Как видно, схема переработки смешанных отходов позволяет снизить массу отходов, требующих захоронения, до 50% от исходного значения, а их объем — приблизительно до 25% от исходного значения.

Переработка параллельных потоков отдельно собранных отходов позволяет снизить массу до 30%, а объем — до 10–15% от исходного.

### **Экономические показатели схем переработки отходов**

В этом разделе оценивается стоимость мероприятий по переработке как смешанных, так и отдельно собранных отходов и приводится их сравнение с наиболее часто предлагаемой альтернативой — прямым сжиганием отходов. Экономические расчеты приведены в таблицах 5 и 6. Для сравнения в таблице 7 приведен расчет стоимости сжигания отходов без предварительной обработки.

В представленных расчетах использована стоимость переработки для каждого технологического приема из таблицы 2; она пересчитывается с учетом массовой доли конкретной фракции, попадающей на каждый технологический прием, полученной по данным таблиц 3, 4. Таким образом мы получаем сумму, которую нужно затратить на применение каждого из технологических приемов в пересчете на тонну поступивших отходов, с учетом доли этих отходов, которая попадает на данный технологический прием.

Сумма затрат по всем технологическим приемам представляет собой величину тарифа, который должен быть введен на переработку отходов по данной схеме. Далее с учетом принятой плотности отходов на входе и объемной доли остаточных отходов на выходе из этой цифры выводится величина затрат, которые необходимы для переадресации 1 м<sup>3</sup> отходов с полигона. Так, например, при последовательной схеме переработки выход вторичных отходов (хвостов) на размещение составляет 25,6% (табл. 3), тариф на переработку отходов по последовательной схеме — 6311 руб./т, плотность поступающих отходов — 0,153 т/м<sup>3</sup>.

Тогда стоимость переадресации 1 м<sup>3</sup> составит:

$$6311 * 0,153 / (1 - 0,256) = 1298 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитан данный показатель для параллельной схемы переработки отходов и сжигания.

Показатель «стоимость переадресации 1 м<sup>3</sup> отходов с полигона» позволяет сравнивать между собой различные технологические приемы и их группы по единому, наиболее важному для коммунальных служб параметру: «Сколько стоит предотвратить заполнение полигона на 1 м<sup>3</sup>». Очевидно, что в первую очередь следует стремиться реализовать те мероприятия, для которых значение этого параметра будет минимальным.

**Таблица 5 Экономические показатели последовательной схемы переработки смешанных отходов**

	Поступление отходов на сортировку	Поступление отходов на биоразложение	поступление отходов на прессование	Выход вторичных отходов на размещение
Масса.	100%	85,96%	50,0%	50,0%
Объем.	100%	83,9%	53,6%	25,6%
Стоимость на 1 т поступающих отходов	1800	4800	770	
Стоимость с учетом доли отходов, поступающих на технологический прием (руб/т)	1800	4126	385	6311
<b>Стоимость переадресации 1 куб. м отходов с полигона</b>				<b>1298</b>

**Таблица 6 Экономические показатели параллельной схемы переработки раздельно собранных отходов.**

	Поступление отходов на сортировку	Поступление отходов на биоразложение	поступление отходов на прессование	Выход вторичных отходов на размещение
Масса.	57,0%	29,1%	29,2%	29,2%
Объем.	87,3%	8,9%	29,0%	12,8%
Стоимость на 1 т поступающих отходов	330	4400	770	
Стоимость с учетом доли отходов, поступающих на технологический прием	188	1280	225	1693
<b>Стоимость переадресации 1 куб. м отходов с полигона</b>				<b>297</b>

**Таблица 7. Стоимость сжигания отходов**

	Выход вторичных отходов на размещение
Масса.	25,00%
Объем.	10,83%
Стоимость на 1 т поступающих отходов	10700
<b>Стоимость переадресации 1 куб. м отходов с полигона</b>	
<b>1836</b>	

При заданных начальных условиях стоимость переадресации 1 м<sup>3</sup> отходов с полигона через применение последовательной схемы составляет 71%, а параллельной схемы — 16% от стоимости прямого сжигания отходов.

## Вариантные расчеты

Предложенные выше результаты представляют усредненную картину и не могут автоматически применяться для каждого региона и ситуации, а служат для представления общей методики и философии подхода к расчету мероприятий по обращению с отходами.

Для инженерного проектирования в конкретном регионе (субъекте федерации, муниципальном районе, городе и т.д.) необходим сбор достоверных исходных данных начиная с плотности и морфологического состава, заканчивая экономическими условиями по сбыту готового вторичного сырья, а также конкретных типов применяемого оборудования.

В таблице 8 для примера приводятся результаты расчетов по нескольким вариантам изменения исходных данных. Базовым назван вариант расчета, описанный подробно выше.

**Таблица 8 Вариантные расчеты последовательной (смешанный сбор) и параллельной (раздельный сбор) схем переработки отходов**

Вариант расчета: изменение параметра относительно базового варианта	Объем отходов направляемых на захоронение (в % от общего объема поступивших)		Стоимость переадресации 1 куб. м отходов с полигона (руб/куб. м)		Стоимость переадресации в % от стоимости прямого сжигания отходов (руб/куб. м отходов, переадресованных с полигона)	
	смешанный сбор	раздельный сбор	смешанный сбор	раздельный сбор	смешанный сбор	раздельный сбор
Базовый вариант	25,6%	12,8%	1298	297	70,7%	16,2%
Складочная плотность отходов понижена с 153 до 100 кг на куб.м	18,3%	9,0%	772	197	42,1%	10,7%
Массовая доля бумаги в морфологическом составе снижена до 13% за счет увеличения пищевых отходов	25,7%	12,1%	1310	357	71,4%	19,4%
Себестоимость биологического разложения отходов снижена в 2 раза	25,6%	12,8%	874	176	47,6%	9,6%
Себестоимость сортировки отходов увеличена в 2 раза	25,6%	12,8%	1668	474	90,8%	25,8%

Рассмотренные варианты приводятся для примера, однако и сами они несут полезную нагрузку. Так, сотрудники ЖКХ, работающие «на земле» на глаз оценивают фактическую плотность отходов в контейнерах (без уплотнения) в 100 кг/м<sup>3</sup> (вместо 153 кг/м<sup>3</sup>, как оценивают чиновники соответствующих ведомств). В этом случае объем захораниваемых отходов и стоимость переработки значительно уменьшаются. По некоторым оценкам масса бумаги в морфологическом составе не превышает 13%. Однако по нашим

расчетам это практически не влияет ни на технические, ни на экономические результаты.

При снижении стоимости биологического разложения отходов вдвое (что возможно, поскольку расчеты базового сценария производились для оборудования весьма низкой мощности) — стоимость переадресации также снижается приблизительно в полтора раза, что ожидаемо. Рост себестоимости сортировки отходов также повышает стоимость переадресации в полтора раза, но при этом не превышает затрат на сжигание отходов даже в смешанном варианте.

#### **Выводы и заключение: что делать с отходами.**

В настоящее время в Московском регионе и Республике Татарстан, в соответствии с Приоритетным проектом «Чистая страна», предлагается построить пять мусоросжигательных заводов. Параллельно предлагается выстраивать схему раздельного сбора «сухих» отходов, однако планов по местам их приема для дальнейшей переработки до сих пор нет.

Схема, по которой предлагается сначала построить мусоросжигательные заводы и только потом — дополнять их «вишенками на торте» в виде раздельного сбора отходов (часто воспринимаемого только как расстановку цветных бачков, без опережающего развития инфраструктуры по дальнейшему обращению с раздельно собранными отходами) — типичный пример хода мыслей лиц, ответственных за принятие решений в сфере обращения с отходами — от муниципального до федерального уровней.

Поэтому целесообразно рассмотреть оптимальный подход к обращению с отходами на данном конкретном примере. Итак, предлагается построить МСЗ с суммарной мощностью, достаточной для переработки 30% отходов Московского региона (по массе) и 100% отходов г. Казань [15]. Поскольку образуются вторичные отходы сжигания в размере 8–12% от объема поступления, можно сказать, что объем захораниваемых отходов уменьшится на 27 и 90% соответственно. Официальные планы по уровням и срокам реализации программ раздельного сбора отсутствуют.

Как же следует планировать деятельность по обращению с отходами на самом деле?

Исходя из сравнения параметра «стоимость переадресации 1 м<sup>3</sup> отходов с полигона» (таблицы 5–7) следует, что оптимальным методом обращения с отходами является комплекс мер из их раздельного сбора и параллельной обработки раздельно собранных потоков (таблица 4). Между тем, метод требует участия населения, а значит — постепенности в своей реализации. Очевидно, уровень переадресации отходов с полигона по данной схеме будет

нарастать постепенно, по мере вовлечения населения в процесс отдельного сбора. Между тем, инфраструктура по приему потоков отдельно собранных отходов должна существовать еще до начала отдельного сбора, как минимум в объеме, достаточном для приема отдельно собранных потоков на начальном этапе.

В этих условиях целесообразно рассмотреть реализацию схемы переработки потока смешанных отходов, занимающую второе место по показателю «стоимости переадресации». По сравнению с третьим по показателю «стоимости переадресации» вариантом, сжиганием, эта схема позволит за счет тех же средств внедрить инфраструктуру, достаточную для переадресации уже не 27% а примерно 37% отходов в г. Москва, и снизить затраты для республики Татарстан в 1,4 раза (либо вовлечь в переработку отходы соседних регионов).

Параллельно с внедрением «смешанной схемы» необходимо начинать внедрять отдельный сбор отходов как минимум по трем потокам:

- «сухие» вторичные материальные ресурсы;
- «влажные» биоразлагаемые отходы;
- прочие отходы, в том числе опасные.

Дальнейшая переработка отдельно собранных отходов может производиться в цехах существующих предприятий, занятых на переработке «смешанных» отходов. На первом этапе для этого не потребуются каких-либо технологических переделок. Переработка будет выполняться путем подачи каждого вида отходов в цеха, соответственно, сортировки, биоразложения и прессования. В дальнейшем, по мере внедрения отдельного сбора, будет достаточно незначительной реконструкции, например удаления или перестановки грохотов или выделения отдельных линий по биоразложению с целью получения «чистого» компоста.

В связи с предварительным разделением потоков, мощность предприятий по переработке отходов будет увеличиваться почти без дополнительных капитальных вложений и позволит при значительном вовлечении населения охватить переработкой уже не менее 50% г. Москвы и вовлечь в переработку еще одну республику, близкую по уровню образования отходов к Татарстану. Таким образом, за счет средств, которые предлагается истратить на реализацию программы «Чистая страна», можно переадресовать с полигонов почти вдвое больше отходов.

Что же делать, когда средства, равные средствам на реализацию проекта «Чистая страна», подойдут к концу? Как видно, тариф по мере перехода от смешанного к отдельному сбору отходов, первоначально выросший, будет

сильно снижаться. Очевидно, целесообразно, затормозив снижение тарифа, ввести инвестиционную составляющую, позволяющую расширять предлагаемые меры на весь охваченный регион.

При поступлении дополнительных средств следует расширять предложенные схемы последовательной и параллельной переработки отходов на весь Московский регион, далее на всю территорию Российской Федерации.

Только после охвата всей Российской Федерации схемами последовательной и параллельной переработки отходов будет целесообразно ставить вопрос о сжигании оставшейся части отходов, масса которых будет, очевидно, находиться в пределах от 50 до 30% от первоначальной массы при их образовании, а объем — от 25 до 13% (см. табл. 5,6). При этом, поскольку объем по схемам последовательной и параллельной переработки потоков снижается в 2–2,3 раза быстрее, чем их масса, сжигание остатков позволяет снизить их объем не в 8–12 а только в 4–5 раз, иными словами стоимость переадресации 1 м<sup>3</sup> методом сжигания остатков вырастет почти вдвое.

Вероятно, в этих условиях более целесообразным окажется вывозить оставшиеся объемы на хорошо обустроенные полигоны. Но в любом случае это вопрос настолько отдаленного будущего, что можно предположить появление к этому моменту новых технологий для вовлечения «хвостов» в переработку и/или развития законодательства, предусматривающего изменение дизайна товаров для лучшего вовлечения их в повторное использование и переработку.

Так, постоянно снижая уровень захоронения остаточных отходов, вполне возможно достичь ситуации, при которой существующие полигоны не будут заполнены никогда.

У предлагаемого к реализации проекта «Чистая страна» есть и другой, юридический аспект. Пунктом 2 статьи 3 Федерального закона от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» (далее — Закон об отходах) закреплены основные направления государственной политики в сфере обращения с отходами (в порядке приоритетов с учетом минимизации неблагоприятных воздействий на окружающую среду и оптимизации эффективности использования ресурсов при предотвращении образования отходов и обращении с ними):

- максимальное использование исходных сырья и материалов;
- предотвращение образования отходов;
- сокращение образования отходов и снижение класса опасности отходов в источниках их образования;
- обработка отходов;
- утилизация отходов;

- обезвреживание отходов.

Поскольку сжигание отходов относится к их обезвреживанию, то до проведения мероприятий по обращению более приоритетными методами продвижение проектов МСЗ незаконно — в отличие от решений, предлагаемых в данной работе.

### **Список используемой литературы**

1. И.В. Бабанин, "Мусорная революция. Как решить проблему бытовых отходов с минимальными затратами.", Москва, ОММНО "Совет Гринпис", 2018.

2. Мюррей Р. Цель — Zero Waste. (Перев. с англ.). - М.: ОМННО «Совет Гринпис», 2004.

3. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году: государственный доклад — М.: Минприроды России, НИА-Природа, 2016.

4. Методические рекомендации по оценке объемов образования отходов производства и потребления. - Москва, ГУ НИЦПУРО. [Электронный ресурс] — Режим доступа: [http://argokmv.ru/mr\\_norm\\_nakopl\\_otkh.pdf](http://argokmv.ru/mr_norm_nakopl_otkh.pdf) Методические рекомендации по оценке объемов образования отходов производства и потребления. — Москва, ГУ НИЦПУРО. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://argokmv.ru/mr\\_norm\\_nakopl\\_otkh.pdf](http://argokmv.ru/mr_norm_nakopl_otkh.pdf).

5. Постановление Правительства Санкт-Петербурга о программе «Региональная целевая программа по обращению с твердыми бытовыми отходами в Санкт-Петербурге на период 2012–2020 годов» от 29 мая 2012 г. № 524 [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2015/02/24/post\\_29\\_05\\_2012%20N%20524.pdf](https://gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2015/02/24/post_29_05_2012%20N%20524.pdf) .

6. ТБО, №10, 2006 стр. 40-43. И. Бабанин. Оценка эффективности раздельного сбора отходов.

7. Gate Fees Report 2017: comparing the costs of waste treatment options. // <http://www.wrap.org.uk> [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.wrap.org.uk/gatefees2017> .

8. Систер В. Г. Твердые бытовые отходы (сбор, транспорт, обезвреживание): справочник/ Систер В. Г., Мирный А. Н., Скворцов Л. С. и др. — М., 2001.

9. Горизонтальный пресс для вторичного сырья (хвостов) Presona LP 50 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://netmus.ru/catalog->

[oborudovaniya/pressy-dlya-vtorsyrya/gorizontalnye-pressy/gorizontalnyj-press-dlya-vmorichnogo-syrya-xvostov-presona-lp-50-vh2/](http://oborudovaniya/pressy-dlya-vtorsyrya/gorizontalnye-pressy/gorizontalnyj-press-dlya-vmorichnogo-syrya-xvostov-presona-lp-50-vh2/) .

10. БиоЭкоМодуль АФК-ЭКО. Автоматизированная установка переработки отходов [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.bioecomodul.ru/?page\\_id=842](http://www.bioecomodul.ru/?page_id=842) .

11. ПЕРЕРАБОТКА ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ С ЗАБОТОЙ ОБ ЭКОЛОГИИ [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://smartcara.ru/> .

12. Новое поколение мобильных и стационарных полностью автоматических систем для переработки органических отходов. Kaeler Holding AG [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.solidwaste.ru/i/tech/doc78.pdf>.

13. Органические удобрения [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://organicheskoe-udobrenie.ru/kupit-udobreniya/kupit-kompost>.

14. Заключение о технологическом и ценовом аудите инвестиционного проекта разработка и реализация пилотного проекта по строительству генерирующих объектов по термической переработке твердых коммунальных отходов на территории Московской области и в городе Казани (уточненное и дополненное по результатам совещания, прошедшего в Министерстве Экономического Развития 30.12.2016). Свеко Союз Инжиниринг. [Электронный ресурс] — Режим доступа: Система электронного документооборота Министерства промышленности и торговли Российской Федерации).

15. Сводный план приоритетного проекта «Снижение негативного воздействия на окружающую среду посредством ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде и снижения доли захоронения твердых коммунальных отходов (Чистая страна)». [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://adm.rkursk.ru/index.php?id=1807&mat\\_id=74102](http://adm.rkursk.ru/index.php?id=1807&mat_id=74102).

16. Завод по термическому обезвреживанию твердых коммунальных отходов мощностью не менее 700000 тонн ТКО в год (Россия, Московская область). Материалы. Оценка воздействия на окружающую среду. Общество с Ограниченной Ответственностью «Институт Проектирования, Экологии и Гигиены» [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.vmr-mo.ru/upload/iblock/0fa/ovos-tom1.pdf>  
Режим доступа: <http://www.vmr-mo.ru/upload/iblock/0fa/ovos-tom1.pdf>.

