

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ

В.Г.Петров, А.А.Чечина

ЛИНИИ СОРТИРОВКИ МУСОРА  
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Ижевск

2005

УДК: 628.492:620.4

*Российская Академия Наук  
Уральское отделение  
Институт прикладной механики*

*Авторы выражают признательность  
Бикбулатову И.И. за помощь в издании  
книги*

***В.Г.Петров, А.А.Чечина***

***Линии сортировки мусора. Перспективы применения***

В работе рассмотрены перспективы использования способа сортировки твердых бытовых отходов (ТБО) с применением ручной сортировки с транспортерной ленты. Сделаны экономические оценки использования таких линий по сортировке мусора. Проведены расчеты влияния сортировки на теплотехнические характеристики остатка ТБО и агрохимические показатели компостов из получаемого после сортировки субстрата ТБО. Предложены методы приготовления смешанных компостов с субстратом ТБО и способ контроля тяжелых металлов в таких компостах.

112 с., 37 табл., 16 рис., список литературы 37 источников

Одобрено к изданию редакционно-издательским советом Института прикладной механики УрО РАН

ISBN

Издательство Института  
прикладной механики  
УрО РАН, 2005 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Принятые обозначения и сокращения	5
Введение	6
1. Твердые бытовые отходы (ТБО).	
Общие сведения	8
1.1. Условия образования и количество ТБО	8
1.2. Характеристика ТБО	9
1.3. Методы переработки, обезвреживания и утилизации ТБО	13
2. Линия для сортировки ТБО (ЛСМ)	19
2.1. Сортировка мусора, как составная часть решения проблемы ТБО	19
2.2. ЛСМ, производительностью до 1000 м.куб. ТБО в смену	22
2.2.1. Основные технологические решения	25
2.2.2. Краткое описание технологического процесса	26
2.2.3. Характеристика ТБО и готовой продукции	37
2.2.4. Вопросы обеспечения безопасности при сортировке ТБО	39
3. Некоторые экономические оценки ЛСМ	43
3.1. Затраты на строительство ЛСМ	43
3.2. Экономические показатели ЛСМ	46
3.3. Оценка рентабельности ЛСМ	50
4. Зависимость свойств мусора от сортировки на ЛСМ	59
4.1. Влияние сортировки на теплотехнические характеристики ТБО	64
4.2. Влияние сортировки на агрохимические показатели компоста из субстрата ТБО	74

5. Получение смешанных компостов с субстратом ТБО	86
5.1. Получение компостов с осадками сточных вод (ОСВ)	87
5.2. Получение компостов с донными отложениями водоемов	99
5.3. Получение компостов с отходами животноводства	101
Заключение	107
Список использованной литературы	110

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ТБО – твердые бытовые отходы;  
ЛСМ – линия сортировки мусора  
ОСВ – осадки сточных вод;  
МСЗ – мусоросжигательный завод;

ТМ – тяжелые металлы;  
ПХБ – полихлорированные бифенилы;  
ПХДД – полихлорированные дибензо-п-диоксины;  
ПБДД – полибромированные дибензо-п-диоксины;  
ПХДФ – полихлорированные дибензофураны;  
ПБДФ – полибромированные дибензофураны;

РФА- рентгено-флуоресцентный анализ

## ВВЕДЕНИЕ

Решение проблемы ТБО в последнее время стало важной проблемой муниципальных образований. Простое депонирование бытовых отходов на вновь строящихся полигонах ТБО нельзя в существующих условиях признать удовлетворительным решением по следующим причинам. Как правило, отсутствуют пригодные для полигонов ТБО территории вблизи городов, т.к. они являются зонами отдыха, либо представляют интерес для дачного строительства и т.п. По этой причине полигоны переносятся на значительные расстояния в несколько десятков и даже сотен километров, что ведет к значительному увеличению транспортных расходов и к снижению контроля воздействия таких полигонов на состояние окружающей среды. В связи с этим актуальной является задача полной или частичной переработки ТБО с выделением из них вторичных ресурсов, что ведет к снижению количества ТБО, направляемого на полигоны, и имеет положительный экономический и экологический эффект.

Одним из способов решения проблемы ТБО для городов с численностью населения до 1 млн. жителей, а также небольших городов является создание ЛСМ, которые могут быть совмещены с мусороперегрузочными станциями или выполнять функции таковых. Основной проблемой реализации данного метода является низкая развитость сети предприятий по переработке вторичного сырья, что ведет к увеличению срока окупаемости ЛСМ и снижению инвестиционной привлекательности для данного производства.

Тем не менее, ЛСМ имеют существенные преимущества перед другими методами решения проблемы ТБО, такими как сжигание, за счет существенного

снижения капитальных затрат на строительство установки по сортировке ТБО, низкого уровня воздействия производства на окружающую среду. В настоящее время ЛСМ применяются самостоятельно, либо в комплексе с другими способами обработки ТБО как за рубежом, так и в некоторых городах РФ. В данной работе проведен анализ возможности использования ЛСМ на примере г.Ижевска. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании и строительстве ЛСМ, а также при разработке региональных и муниципальных программ обращения с ТБО.

# **1. Твердые бытовые отходы (ТБО).**

## **Общие сведения**

### **1.1. Условия образования и количество ТБО**

ТБО или «твердыми муниципальные отходами» (Municipal Solid Waste) называются отходы, вывозом, захоронением и обезвреживанием которых традиционно занимаются городские власти. Однако в настоящее время в развитых странах значительное количество ТБО собирается не городскими коммунальными службами, а частными предприятиями, которые также имеют дело с промышленными отходами.

ТБО имеют различное происхождение и, кроме отходов, производимых населением, включают также отходы, производимые торговыми предприятиями, различными учреждениями, муниципальными службами и проч. Часть отходов может относиться к опасным (например ртутные лампы, никель-кадмиевые батареи и т.п.). Все эти отходы объединяет одно – ответственность за их утилизацию ложится на городские власти [1]. В табл.1 приведено количество ТБО, образующихся в различных странах и России по данным [2].



Таблица 1

Производство ТБО в различных странах и России  
[2]

Страна	Всего в год, тонн	На душу насе- ления в день, кг
США (1988)	180 млн.	1,82
США (1995)	200 млн.	1,91
США (2000)	216 млн.	2,00
СССР (1989)	57 млн.	0,23
Россия (1991)	26 млн.	0,17
Западная Европа	123,3 млн.	-
Великобритания	18 млн.	0,9

Количество муниципальных отходов в России увеличивается, а их состав, особенно в крупных городах приближается к составу ТБО в западных странах. По данным [3] в 2000 г. в России производство ТБО приблизилось к 0,5 кг на душу населения в день. Как уже отмечалось, в Удмуртии образуется около 2,0 млн.м<sup>3</sup> ТБО [4], что соответствует 0,25-0,3 кг на душу населения в день.

## 1.2. Характеристика ТБО

Состав и объем ТБО чрезвычайно разнообразны и зависят не только от страны и местности, но и от времени года и многих других факторов. Бумага и картон составляют наиболее значимую часть ТБО (до 40% в развитых странах). Вторая по величине категория в России – это органические (пищевые) отходы; металл, стекло и пластик составляют по 7-9% от общего коли-

чества отходов. Примерно по 4% приходится на дерево, текстиль, резину и т.п. [2]. В табл.2 представлены состав ТБО в США и России [2] и в г.Ижевске [5]. В табл.3 приведен химический состав для ТБО [6] в РФ и для г. Ижевска [5].

Таблица 2.

Состав ТБО в США , России [2] и г.Ижевске [5].

Компоненты ТБО	Содержание, %		
	США	Россия	г.Ижевск (1990 г.)
Бумага и картон	40,0	20-36	17,5-20,5
Стекло	7,0	5-7	3-7
Металлы	8,5	2-3	3,5-6
Пластик	8,0	3-5	2,5-5
Текстиль	2,1	3-6	5,5-8,5
Резина и кожа	2,5	1,5-2,5	1,5-3
Древесина	3,6	1-4	1-2,5
Пищевые отходы	7,4	20-38	35,5-45
Другие компоненты	20,9	10-35,5	10-30

Таблица 3.

Химический состав ТБО в РФ и для г.Ижевска, %  
сухой смеси [5]

Показатель	Пределы изменения для климатической зоны РФ и для г. Ижевска (1990)			
	Средней	Южной	Северной	г. Ижевска
Органическое вещество	56-72	56-80	55-60	64,5-67,5
Зольность	28-44	20-44	40-45	33-40
Общий азот	0,9-1,9	1,2-1,7	1,2-1,6	0,6-0,8
Кальций	2,0-3,0	4,0-4,7	2,1-4,8	не опред.
Углерод	30,0-35,0	28,0-39,0	28,0-30,0	18-20
Фосфор	0,5-0,8	0,5-0,8	0,4-0,5	не опред.
Общий калий	0,5-1,2	0,5-1,1	0,4-0,5	не опред.
Сера	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,1
pH	5,0-6,0	5,0-6,0	5,0-6,5	не опред.
Влажность, % общей массы	40-50	40-70	43-58	40-55
Плотность, т/м <sup>3</sup>	0,18-0,25			0,19-0,21

Из табл.2 видно, что ТБО г.Ижевска содержат большее количество металлов по сравнению с ТБО для других регионов России. Это, вероятно, связано с характером производств в г.Ижевске, и как следствие, большим объемом промышленных отходов, попадающих на полигон ТБО.

Из табл.2 видно, что городские ТБО содержат такие компоненты как стекло, бумага, пластмассы, резину, черные и цветные металлы, органические отходы. Можно также упомянуть отходы бытовой химии. Можно охарактеризовать эти компоненты следующим образом [1]:

- Стекло: осколки оконного стекла, бутылки для напитков одноразового и многократного использования и др.;

- Бумага: упаковка, газеты, офисная бумага и др.,

- Металлы: черные металлы (железо, сталь); тяжелые металлы и цветные металлы (свинец, кадмий, хром, ртуть, кобальт, алюминий, олово, медь, никель, латунь) поступают с отходами различных технических приборов и устройств, алюминиевыми банками и др.;

- Резина: автопокрышки и др.;

- Органические отходы: пищевые отходы, дерево, листья и др.;

- Пластмассы: полипропилен (используется для электротехнических изделий); полиэтилен (используется для большого ассортимента различных изделий: посуда, пакеты, игрушки, пленки и т.п.); поливинилхлорид (пробки от бутылок, кредитные карточки, игрушки, аудио-видео кассеты, линолеум); полистирен (пластиковая посуда, упаковочные материалы); полиэтилентерефталат (пластиковые бутылки); поликарбонат (для автомобилей, в электронном оборудовании, в строительных материалах).

### 1.3. Методы переработки, обезвреживания и утилизации ТБО

Соотношение различных методов обезвреживания и переработки ТБО в различных странах по данным [2,6,7,8] приведено в табл.4.

Таблица 4  
Соотношение различных методов обезвреживания и переработки ТБО

Страна	% от общего накопления ТБО			
	Складирование на полигонах	Сжигание	Компостирование	Другие методы
Россия	97,0	2,7	0,7	-
Австрия	58,0	22,0	18,0	2,0
Бельгия	44,0	47,0	9,0	-
Великобритания	88,5	10,0	1,4	0,1
Венгрия	92,0	8,0	-	-
Италия	67,0	18,0	10,0	5,0
Дания	17,5	80,0	0,5	2,0
Канада	80,0	19,0	1,0	-
Нидерланды	44,0	40,0	15,0	1,0
США	85,0	14,0	0,1	0,9
Франция	46,4	41,0	12,0	0,9
ФРГ	61,0	34,0	5,0	-
Чехия + Словакия	89,5	8,0	2,5	-
Швейцария	4,0	80,0	10,0	6,0
Швеция	34,0	56,0	9,9	0,1
Япония	27,0	70,0	0,3	2,7

Вторичной переработке (в т.ч. переработке в компост) подвергается незначительное количество ТБО (в соотношении от общего объема). Так по данным [2,9] вторичной переработке и использованию в США под-

вергается 13,1% всех ТБО, в ФРГ - около 15%, в РФ – лишь 1,3% [2,7].

**Захоронение:** Захоронение на полигонах продолжает оставаться необходимым для отходов, не поддающихся вторичной переработке, несгораемых или сгораемых с выделением токсичных веществ. Современные «санитарные» полигоны, отвечающие всем требованиям, не являются просто свалками: они представляют собой сложнейшие инженерные сооружения, оборудованные системами борьбы с загрязнениями воды и воздуха, использующие образующийся в процессе гниения мусора газ для производства тепла и электроэнергии [2].

Главные негативные воздействия скоплений мусора – это воздействие через воздух и воду. Воздействие на воздух происходит за счет ферментации (гниения) ТБО, в результате чего образуются вредные и дурно пахнущие газы. Воздействие на воды, в первую очередь подземные воды, осуществляется за счет образующегося и накапливающегося в ТБО фильтрата, обладающего токсичными свойствами [10].

В настоящее время в США действует закон, согласно которому специальный полигон для захоронения ТБО оборудуется следующим образом. Дно и стенки захоронения могут быть однослойными, но слой этот обязательно должен быть композитным и состоять из нескольких материалов с различными изолирующими свойствами. Наружная часть композитного слоя состоит из специально уплотненной глины, которая не должна пропускать воду быстрее, чем  $1 \cdot 10^{-6}$  см/с. Его толщина должна быть не менее 60 см. Внутри захоронение должно быть выложено пленкой высокоплотного полиэтилена. Пленка эта располагается наклонно, так что фильтрат из ТБО стекает в углубле-

ния дна и отсасывается оттуда насосами, после чего происходит его обезвреживание [11].

После окончания заполнения захоронение закрывают покрытием, устроенным сходным с покрытием дна и стенок образом, а на покрытие насыпают землю, где высаживают деревья, разбивают парк и делают другие культурные обустройства. Система удаления фильтрата продолжает функционировать и в течение 30 лет происходит санитарное наблюдение за состоянием подземных вод вокруг захоронения.

Однако использование таких полигонов в США выявил ряд недостатков с точки зрения охраны окружающей среды. Фильтрат даже в условиях такой защиты от его попадания, просачивается в подземные воды, загрязняя их. Еще один подход, принятый в США включает непрерывное пропускание откачиваемого фильтрата через слой ТБО (которые для этого метода предварительно измельчаются). При этом происходит значительное ускорение процессов выщелачивания и ферментации, что приводит к увеличению количества образующегося в отходах свалочного газа.

Несмотря на то, что стоимость захоронения ТБО на таких полигонах относительно невелика (от 20 до 40 долларов за тонну ТБО для США), с точки зрения защиты окружающей среды наиболее благоприятная стратегия избавления от мусора – это уменьшение его количества за счет меньшего первоначального производства и повторного использования, либо переработки мусора уже произведенного [11].

В РФ лишь незначительный процент от общего количество свалок удовлетворяет вышеописанным требованиям. В Удмуртии по такому подходу создан новый полигон ТБО на Нылгинском тракте [4].

**Сжигание:** Сжигание ТБО позволяет примерно в 3 раза уменьшить вес отходов, устранить некоторые неприятные свойства: запах, выделение токсичных жидкостей, бактерий, привлекательность для птиц и грызунов, а также получить дополнительную энергию, которую можно использовать для получения электричества и отопления [2].

Однако сжигание ТБО также является одним из наиболее сложных и опасных (с точки зрения риска загрязнения атмосферы такими веществами, как полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные и полибромированные диоксины и дибензофураны (ПХДД, ПБДД, ПХДФ, ПБДФ) и тяжелые металлы. Даже получение за счет сжигания дополнительной электроэнергии не представляется с этой точки зрения достаточно привлекательным [2, 12-15].

Ситуацию не изменило появление в начале 80-х годов прошлого века мусоросжигательных заводов (МСЗ) «нового поколения», снабженных высокотехнологичными устройствами очистки выбросов. МСЗ были встречены негативно населением из-за боязни диоксинов и других загрязнителей воздуха, а также из-за нерешенности проблем с захоронением токсичной золы, образующейся при сжигании ТБО. В странах с развитым экологическим законодательством до половины капитальных расходов на строительство МСЗ уходит на установку воздухоочистительных систем. До 1/3 эксплуатационных расходов МСЗ уходит на плату за захоронение золы, образующейся при сжигании мусора, которое представляет из себя гораздо более экологически опасное вещество, чем ТБО сами по себе [2, 12].



В настоящий момент с точки зрения возможности образования ПХДД/Ф разработана следующая **Европейская норма** для МСЗ:

В горячей зоне газы должны находиться при температуре не ниже  $850^{\circ}\text{C}$  в течение не менее 2 секунд (правило 2 секунд) и при содержании кислорода не ниже 6% масс. Содержание диоксинов в отходящих газах МСЗ в единицах I-TEQ не должно превышать  $0,1 \text{ нг/нм}^3$ .

Стоимость сжигания ТБО в настоящее время в развитых странах превышает в 2, а иногда и в 3 раза, чем захоронения на специальных полигонах [2,12].

В РФ строительство МСЗ предполагалось в нескольких городах [13], в т.ч. 6 МСЗ в Москве. Однако при этом предполагается использовать устаревшие технологии без глубокой очистки отходящих газов. Также на их строительство требуются значительные капитальные затраты – около 100-150 млн. долларов. Вследствие этого во многих регионах строительство МСЗ приостановлено [14].

**Компостирование:** Компостирование – это технология переработки отходов, основанная на их естественном биоразложении. Наиболее широко компостирование применяется для переработки отходов органического – прежде всего растительного происхождения. Существуют технологии компостирования пищевых отходов, а также неразделенного потока ТБО. Конечным продуктом компостирования является компост, который может найти различное применение в городском и сельском хозяйстве.

Компостирование, применяемое в России, например в Санкт-Петербурге, представляет из себя процесс сбраживания в биореакторах всего объема ТБО. Такой компост представляет из себя достаточно опасный

продукт и находит лишь ограниченное применение. В Западных странах такой компост применяют только для покрытия свалок [2]. Находит применение в России также технология получения вермикомпостов [16].

**Вторичная переработка:** Многие компоненты ТБО могут быть переработаны в полезные продукты. Из ТБО может быть выделено следующее вторичное сырье:

- Бумага: газеты, картон, высококачественная бумага, смешанная бумага;
- Алюминий;
- Стекло: прозрачное, зеленое, коричневое;
- Ферромагнитные металлы;
- Пластик;
- Аккумуляторы и бытовые батарейки.

Существует некоторые подходы для вторичной переработки ТБО. Это например отдельный сбор мусора, активно применяемый в Западных странах, механизированная и ручная сепарация неразделенных ТБО [17-19]. В настоящее время в РФ это направление осложнено тем, что отсутствует широкая сеть экономически эффективных предприятий по переработке вторичного сырья.

При составлении муниципальных программ [20,21] по решению проблемы ТБО необходимо использовать комплексный подход [2], который бы учитывал имеющиеся и перспективные возможности в регионе по переработке вторичных ресурсов. На основании этого может быть заложен тот или иной метод решения проблемы с ТБО.

## **2. Линия для сортировки ТБО (ЛСМ)**

### **2.1. Сортировка мусора, как составная часть решения проблемы ТБО**

Как отмечается в работе [22], сортировка ТБО является определенной проблемой. Состав ТБО неоднороден. В них находятся различные фракции, которые представляют интерес для использования в качестве вторичного сырья. С другой стороны извлечь их каким-либо механическим устройством достаточно сложно, т.к. они находятся в общей массе мусора. Сложность сортировки ТБО, приводит к тому, что для крупных городов рассматриваются варианты использования ТБО в качестве топлива. Однако следует учесть, что в этом случае происходит загрязнение атмосферы аэрозолями ТМ, а также при этом могут образовываться ПХДД/Ф и другие токсичные органические соединения [12-14]. Предполагаемая в работе [22] многоуровневая очистка отходящих газов МСЗ значительно увеличивает стоимость произведенной электроэнергии. Даже в случае создания МСЗ предварительная сортировка мусора является важным технологическим элементом, позволяющим извлечь вторичные ресурсы и снизить воздействие на окружающую среду МСЗ. Если для крупных мегаполисов с численностью населения свыше 1 млн. человек, создание МСЗ может рассматриваться как один из вариантов решения проблемы ТБО, из-за относительно более высокой стоимости земли для организации полигонов ТБО и высоких транспортных расходов по вывозу мусора, то для городов с численностью населения 500 тыс.- 1 млн. жителей, а тем более с меньшей численностью более эффективными могут оказаться другие способы решения этой проблемы.

Для сортировки ТБО могут использоваться 2 возможных подхода:

- сортировка мусора в месте сбора, т.е. в каждой квартире и собирать различные фракции отдельно;
- сортировать всю массу бытового мусора, перемешанного в мусоропроводах или общих контейнерах централизованно на специальных предприятиях с помощью различных механизированных линий и устройств.

Следует отметить, что в многоэтажных домах (где 6 и более этажей), оборудованных мусоропроводами, осуществлять сортировку по первому пути практически невозможно. Трудно также организовать отдельный сбор в условиях существующих жилых помещений, и решить вопрос своевременного вывоза разделенных фракций [22]. Для комплексной сортировки мусора можно говорить только о механизированной линии на специальных предприятиях.

Опыт применения различных механизированных устройств для сортировки ТБО показал, что их использование имеет очень низкую экономическую эффективность. Например, процент извлечения черного металла с использованием магнитной сепарации оказался очень низким. Устройства по выделению бумаги и тряпья постоянно забивались этими фракциями и выходили из строя, что требовало постоянного наблюдения за ними технического персонала. В цехе по механизированной сортировке ТБО создаются вредные, неблагоприятные для здоровья людей антисанитарные условия. При этом осуществляется лишь частичная сортировка ТБО. По этой причине такие линии были демонтированы, например, в Москве [22].

Из сделанного анализа видно, что несмотря на актуальность данной проблемы, решение ее вызывает

определенные сложности. Поэтому целесообразно рассмотреть метод сортировки ТБО, который включал бы в себя преимущества обоих подходов, при этом, по возможности, исключал бы их негативные моменты. В качестве такого подхода можно рассмотреть ручную сортировку перемешанных или частично перемешанных ТБО с транспортерной ленты.

Преимуществом такого метода является то, что для разделения фракций ТБО используются возможности человека – участника технологического процесса, эффективная замена которого механизмами при сложном составе сортируемого мусора в настоящее время, по-видимому, не представляется возможной. Не используются сложные механические устройства для разделения фракций. Основным механизированным устройством является транспортерная лента. При этом работники могут быть оснащены дополнительными вспомогательными устройствами – мини-грабли, нож-секач и пр.

К недостаткам метода можно отнести необходимость использования ручного труда, соответственно более высокие требования к технике безопасности. Неполное извлечение различных фракций ТБО (извлечение мелких составляющих фракций в этом методе также нецелесообразно).

Из приведенного анализа преимуществ и недостатков предлагаемого метода видно, что такой подход вряд ли возможен при большом объеме ТБО, т.к. для сортировки потребуются значительные людские ресурсы. При высоком уровне заработной платы экономическая эффективность метода также окажется достаточно низкой. Поэтому такой метод может оказаться экономически мало эффективным для крупных городов. В то же время для городов с численностью населения до 1 млн. человек он может быть приемлем.

Существующие подходы к организации сортировки ТБО таким способом показывают, что подобные линии, как правило, создаются на мусороперегрузочных станциях [23,24].

В дальнейшем будет обсуждаться возможность строительства такой линии по сортировке мусора (ЛСМ) для г.Ижевска. Очевидно, что одним из важных экономических факторов функционирования линии сортировки будет возможность использования извлеченного вторичного сырья. В табл.5 приведен перечень вторичных ресурсов и ориентировочная закупочная стоимость их предприятием АО «Вторресурсы», г.Ижевск. Эта стоимость вторичных ресурсов в дальнейшем будет рассматриваться при оценке экономической эффективности линии сортировки ТБО.

## **2.2.ЛСМ, производительностью до 1000 м.куб. ТБО в смену**

Нами разрабатывалось техническое задание на проектирование ЛСМ для г.Ижевска с использованием ручного разделения фракций мусора с транспортерной ленты, производительностью до 1000 м.куб. ТБО в смену [25]. Такая производительность охватывает приблизительно 1/3 всех образующихся ТБО в городе. Предварительно было проведено изучение фракционного состава мусора г.Ижевска на старом полигоне ТБО по Сарапульскому тракту. Результаты изучения приведены в табл.6. Такой подход был признан перспективным и с органами местного самоуправления г.Ижевска согласовывалось строительство такой сортировочной линии. Рассматривалось строительство опытной линии небольшой производительности на территории АО «Вторресурсы» г.Ижевск.

Таблица 5

Закупочные цены Удмуртского производственно-заготовительного АО «Вторресурсы», г.Ижевск, 1997 г. на вторичное сырье

Наименование вторичного сырья	Стоимость, долларов США/ тонну
Бумага	25,0
Текстиль: х.б.	67,0
Текстиль: ватин, шерсть, полушерсть, шелк	17,0
Стеклобой	5,0
Авторезина без металлокорда	5,0
Лом цветных металлов:	
Алюминий	167,0
Свинец	50,0
Бронза	167,0
Латунь	167,0
Медь	500,0
Лом черных металлов:	
Чер. мет.	10,8
Чугун	8,3

Таблица 6

Соотношение между основными фракциями ТБО г.Ижевска  
(исследования проводились в феврале 1995 г.  
МП «Спецавтохозяйство» г.Ижевск и ИПМ УрО РАН)

Наименование фракции	Кол-во контейнеров, шт.	Объем фракции, м <sup>3</sup>	Масса фракции, т.	% масс.
----------------------	-------------------------	-------------------------------	-------------------	---------

1-я машина

Бумага	2,5	1,90	0,40	14,3
Пластик	1,5	1,20	0,08	2,9
Стекло	0,5	0,40	0,16	5,7
Металл	0,5	0,40	0,10	3,6
Текстиль	1,0	0,75	0,16	5,7
Для захоронения или компостирования	12,0	9,00	1,90	67,8
<b>Всего:</b>	18,0	13,65	2,80	100

2-я машина

Бумага	2,0	1,50	0,32	11,8
Пластик	1,5	1,20	0,08	3,0
Стекло	0,75	0,60	0,24	8,9
Металл	0,75	0,60	0,16	5,9
Текстиль	1,0	0,75	0,16	5,9
Для захоронения или компостирования	11,0	8,30	1,75	64,6
<b>Всего:</b>	17,0	12,95	2,71	100



По результатам испытаний, затем, предполагалось построить ЛСМ большей производительности на новом полигоне ТБО по Нылгинскому тракту или совместить ее с мусороперегрузочной станцией по Нылгинскому тракту (см. рис.1).

В данной главе будет сделано описание технологии сортировки ТБО с использованием ручного разделения фракций с транспортной ленты, подготовленной нами в техническом задании на проектировании линии, производительностью 1000 м.куб. в смену для г.Ижевска.

### **2.2.1.Основные технологические решения**

Сортировка ТБО по фракциям осуществляется по фракциям с транспортной ленты [23,24,26]. Используется ленточный транспортер желобчатого типа, т.к. использование плоских лент приводит к рассыпанию ТБО и трудностям при обслуживании [22]. Предполагается работа транспортера в режиме периодической остановки. Скорость движения транспортной ленты должна соответствовать производительности линии в 125 м.куб. ТБО в час, что при ее длине 25-30 м. и ширине ленты 1-1,5 м. составляет примерно 3-4 м/мин. Автоматическая остановка транспортера происходит через каждые 2-3 м. В момент остановки движения транспортной ленты происходит разборка ТБО. Время остановки должно быть достаточным для извлечения фракций ТБО и определяется на основании опытных данных. Запуск транспортера также осуществляется автоматически.

Транспортер оборудуется рабочими местами с контейнерами для отбора различных фракций ТБО. Работники, осуществляющие сортировку ТБО, обес-

печиваются личным инструментом, облегчающим работу с мусором. В качестве такого инструмента могут использоваться мини-грабли, нож-секач, щипцы, портативное магнитное устройство для определения магнитной восприимчивости металлов и пр. Особое внимание должно быть уделено вопросам обеспечения техники безопасности работ, что будет обсуждаться далее. Схема такого метода сортировки ТБО приведена на рис.2.

Отобранные фракции складировются на специально оборудованных площадках для хранения вторичных ресурсов, откуда затем вывозятся автотранспортом потребителям. Некоторые фракции могут прессоваться для уменьшения объема, например макулатура, металлы, пластик, ветошь. Для этого должно использоваться специальное прессовальное оборудование. Такие фракции, как макулатура, ветошь, а также металлы должны размещаться во влагозащищенных хранилищах.

### **2.2.2. Краткое описание технологического процесса**

ТБО привозятся к линии сортировки специализированным транспортом. Выгрузка ТБО происходит с эстакады в приемный бункер без шибберного устройства \*. К нижней части бункера подведен наклонный ленточный транспортер, на который попадает ТБО из бункера. С этого транспортера мусор подается на горизонтальный ленточный транспортер, расположенный на высоте 1,5-2 м над уровнем пола.

-----  
\* Примечание: могут использоваться также другие методы подачи ТБО на линию сортировки с помощью различных устройств и механизмов.

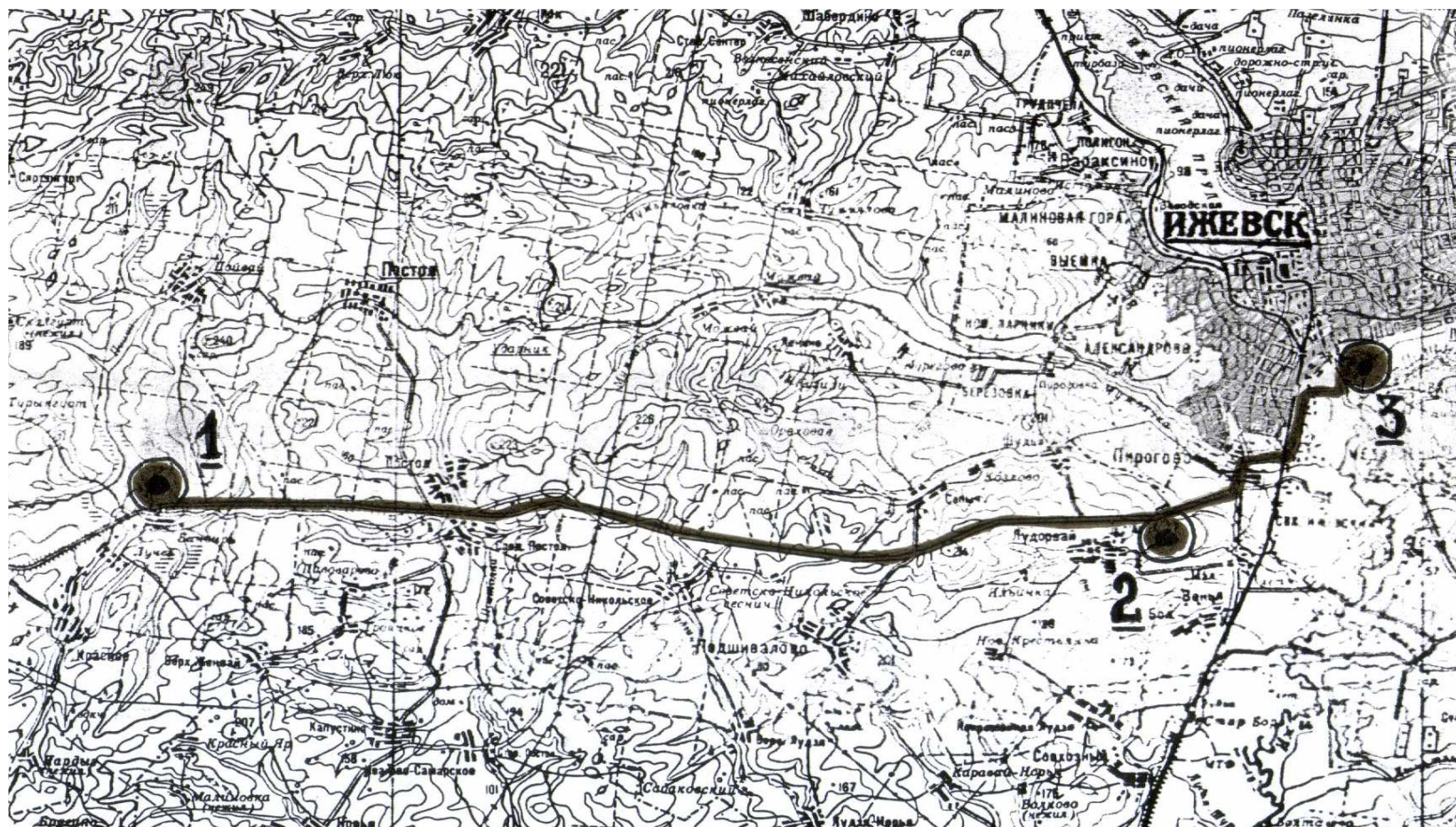


Рис.1. Схема расположения для г.Ижевска: 1- полигона ТБО;  
2- мусороперегрузочной станции; 3- АО «Вторресурсы»



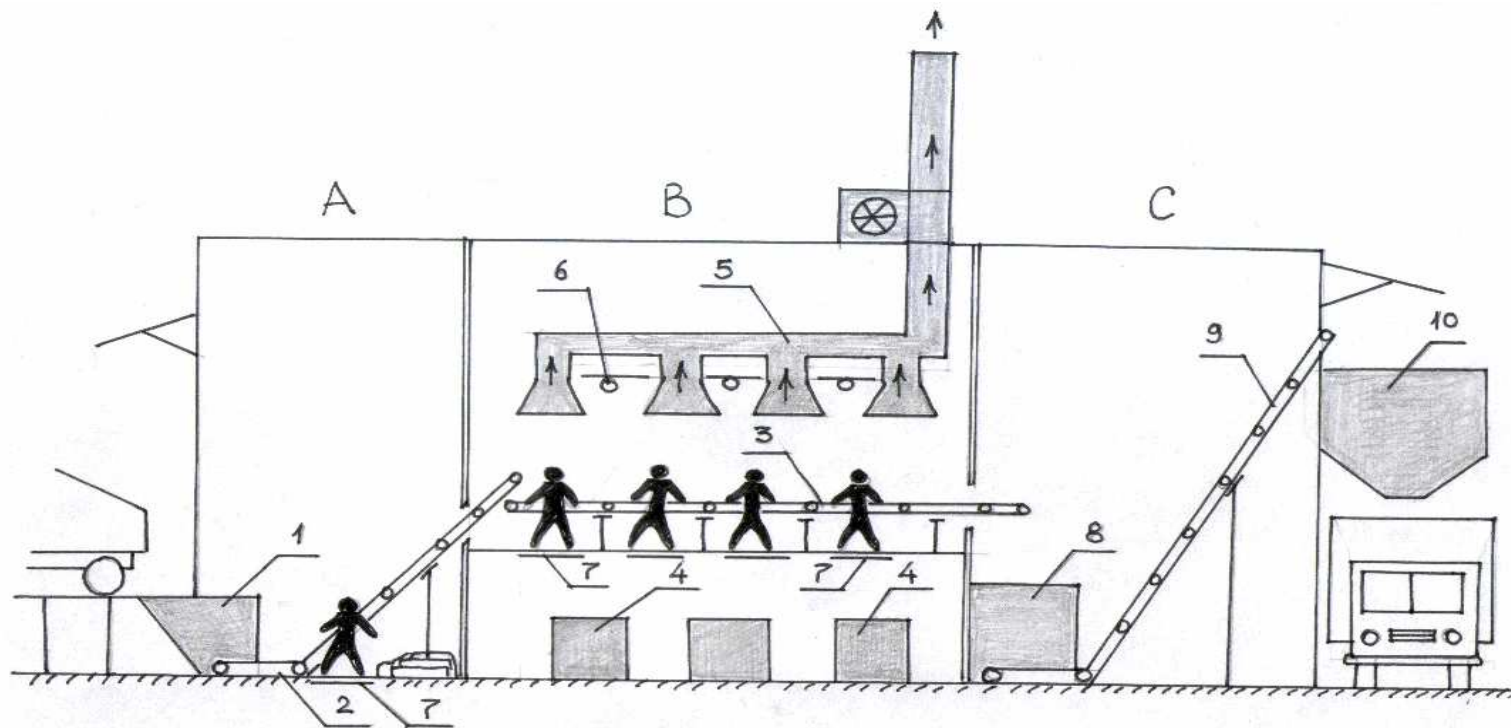


Рис.2 Схема ЛСМ: А- зона приема ТБО и отбора крупных фрагментов фракций; В- зона сортировки мусора; С- зона удаления остатка ТБО после сортировки.

1- приемный бункер ТБО; 2- наклонный транспортер для подачи ТБО для сортировки; 3- горизонтальный транспортер; 4- контейнеры для отсортированных фракций ТБО; 5-вытяжная вентиляция; 6- специальное освещение зоны сортировки ТБО; 7- оборудованные рабочие места; 8- бункер для остатка ТБО после сортировки; 9- наклонный транспортер; 10- бункер накопитель остатка ТБО после сортировки.

По сторонам горизонтального транспортера имеются рабочие места. Рабочие места оборудованы контейнерами для сбора фракций ТБО, сидением, специальными приспособлениями для облегчения работы по разборке мусора (см. п.2.1). К каждому рабочему месту подведена вытяжная вентиляция и освещение, с использованием ламп дневного света. Также может быть организован обогрев рабочих мест для создания комфортной температуры для рабочих в холодное время года.

Рабочие места в начале транспортной ленты предназначены для извлечения из ТБО крупных составляющих: бумаги (картона), ветоши и пр. Бумага (картон), ветошь, извлеченные из ТБО помещаются в контейнер, после наполнения которого, слегка уплотняется и перевязывается металлической проволокой или капроновой нитью. Масса тюков, не должна превышать 40 кг. Полученные таким образом тюки с макулатурой и ветошью направляются для прессования. После прессования, бумага и ветошь направляются на склад вторсырья. Обязочный материал для получения тюков является возвратным.

Другие рабочие места предназначены для извлечения из ТБО черных и цветных металлов. Для этого они оснащаются контейнерами и портативным устройством для контроля магнитной восприимчивости металла. В задачу рабочего должно входить извлечение из ТБО металлических составляющих, контроль их магнитной восприимчивости и размещение их в контейнеры для черных и цветных металлов. При этом не ставится задача удаления из ТБО мелких металлических фрагментов. Заполненные контейнеры направляются на прессование металла. Спрессованный металл направляется на склад вторсырья, где черный и цветной металл хранится отдельно. Алюминиевые

банки и изделия из алюминия выбираются отдельно и складываются, не смешиваясь с другими металлами.

На рабочих местах для выделения пластмассовых составляющих может быть предусмотрено их разделение на термопластичные и термореактивные по соответствующим признакам. К термопластичным пластмассам относятся пластиковые бутылки, полиэтиленовые пакеты и пр. К термореактивным – корпуса приборов, игрушки и пр. Термопластичные пластмассы могут быть спрессованы и направлены на склад вторсырья. Термореактивные пластмассы хранятся россыпью, при этом производится измельчение крупных фрагментов.

Стекло из ТБО сортируется на цветное и бесцветное и собирается отдельно. Стеклобой на площадке для вторресурсов хранится россыпью. При этом цветной и бесцветный стеклобой не смешиваются.

Некоторые рабочие места могут быть резервными и предназначены для привлечения дополнительных рабочих для увеличения производительности линии по сортировке ТБО. Кроме этого, сортировка ТБО может осуществляться и не со специально оборудованных рабочих мест. Также может быть поставлена задача удаления из ТБО, по возможности, отработанных элементов питания электроприборов, ртутных ламп и других компонентов, содержащих токсичные вещества. Такая работа может проводиться для снижения содержания токсичных примесей в остатке ТБО после сортировки, который может использоваться для получения компостов.

Мусор, после сортировки, направляется в бункер накопитель. После этого вывозится к месту захоронения или компостирования.

Линия не предусмотрена для разборки смерзшихся ТБО. Смерзшиеся ТБО направляются на захороне-

ние без разборки, либо выдерживаются определенное время при положительной температуре в специальном бункере-накопителе. Контроль качества выбираемого вторичного сырья на наличие загрязнителей осуществляется визуально работниками, участвующими в сортировке ТБО. Фракции с повышенным содержанием загрязнений направляются на захоронение. Приемлемое содержание загрязнений в отбираемых фракциях определяется потребителями вторсырья.

Вывоз отобранных фракций на склад вторичного сырья осуществляется вспомогательным автотранспортом. Склад хранения макулатуры, ветоши, металлов представляет из себя не отапливаемое закрытое хранилище ангарного типа. Пластмасса, резина, стекломой хранятся на открытых площадках, огороженных забором. Потребителям на переработку вторсырья вывозится с этого склада. Для определения количества вывозимого вторичного сырья склад оснащается автомобильными весами. Склад обслуживается погрузчиками для загрузки, как спрессованных фракций, так и фракций, хранящихся россыпью. Должен быть также организован сбор и обезвреживание ливневых стоков с открытых площадок хранения вторсырья. Схема возможной организации ЛСМ приведена на рис.3.

Иллюстрация технологического подхода обращения с ТБО с использованием ЛСМ приведена на рис.4 Фотографии подготовлены Механическим заводом «Спецтранс» г.С.Петербург с действующей ЛСМ и опубликованы на Интернет-сайте [23].

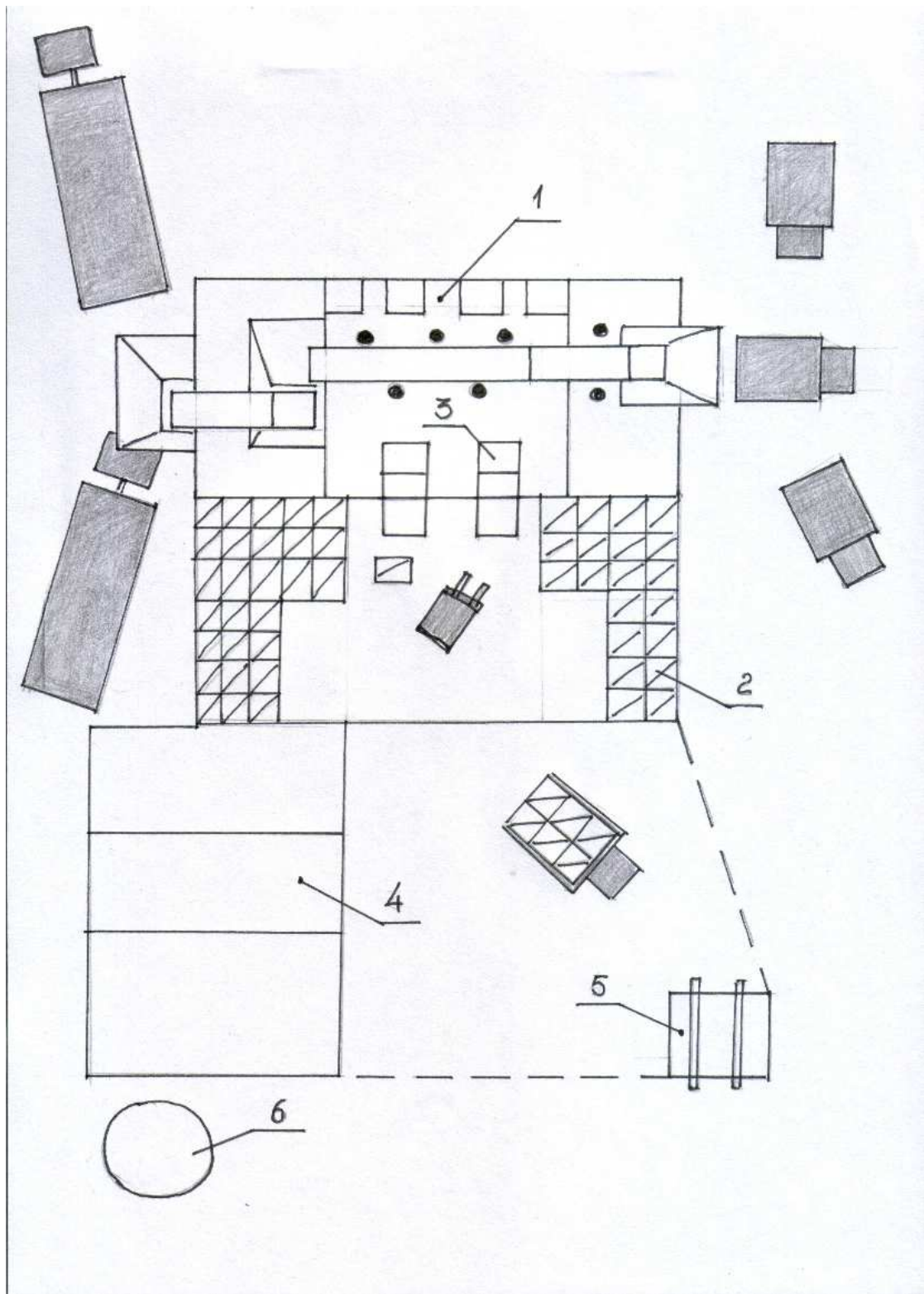


Рис.3. Схема возможной организации производства по сортировке ТБО: 1- здание ЛСМ с технологическим оборудованием; 2- закрытый склад вторичного сырья; 3- прессовальное оборудование для вторсырья; 4- открытый склад вторичного сырья; 5- автомобильные весы; 6- сборник стоков ЛСМ.





**А**



**В**

Рис.4. Линия сортировки ТБО, изготовленная Механическим заводом «Спецтранс», г.С.Петербург [23]: **А**- размещается на мусороперегрузочной станции; **В**- место выгрузки ТБО на ЛСМ.



**С**



**Д**

Рис.4 (продолжение): **С**- общий вид ЛСМ: наклонный, подающий транспортер и горизонтальный транспортер с рабочими местами; **Д**- сортировка ТБО рабочими.





**Е**

Рис.4 (продолжение): **Е**- контейнеры для сбора сортируемых фракций ТБО.



**F**



**G**

Рис.4. (продолжение): **F**- остаток мусора после сортировки накапливается в контейнере; **G**- контейнер с остатком мусора вывозится на полигон ТБО или для компостирования.

### 2.2.3. Характеристика ТБО и готовой продукции

**ТБО:** Плотность ТБО г.Ижевска меняется по сезонам года от 0,19 т/м<sup>3</sup> летом до 0,21 т/м<sup>3</sup> осенью и зимой, что связано с увеличением влажности отходов. Общая влажность ТБО меняется от 40% летом до 55% осенью, что связано с увеличением осенью отходов фруктов, овощей, увеличением влажности ТБО, вызванной применением системы сбора отходов в открытые контейнеры [5].

Отходы цветного металла представлены, в основном, алюминиевыми банками, аэрозольными баллончиками и пр. Пластмассы представлены, в основном, полиэтиленовыми пакетами, игрушками, деталями бытовой техники и пластиковыми бутылками. Крупные отходы составляют ориентировочно 5-6% от массы ТБО и представлены картонной упаковкой, деревом, резиной [5].

**Готовая продукция:** представляет из себя следующие материалы:

- вторичное сырье для целлюлозно-бумажной промышленности – макулатура. Прессуется в тюки, стянутые металлической проволокой или лентой. Масса тюков определяется возможностями прессовального оборудования;

- вторичное сырье для текстильной промышленности – ветошь. Также прессуется в тюки, стянутые металлической проволокой или лентой;

- вторичное сырье для металлургии – металлолом черных и цветных металлов, прессуется в виде кубов;

- вторичное сырье для стекольной промышленности – стеклобой цветной и бесцветный, хранится в виде россыпи;

- вторичное пластмассовое сырье – термопластичные и терморезистивные пластмассы. Часть сырья прессуется в тюки. Часть хранится россыпью;

- вторичное резиновое сырье – часть прессуется в тюки; часть- хранится россыпью;

- материал для получения компоста или захоронения (субстрат ТБО) – смесь пищевых, строительных отходов и мелких составляющих других фракций. Вывозится на полигоны ТБО либо на компостные площадки или другие устройства для получения компоста. Так как крупные составляющие ТБО извлекаются при сортировке, дополнительного измельчения материала для компостирования не требуется.

#### **Особые требования к готовой продукции:**

- бумага (картон), извлекается из ТБО, если влажность ее составляет не более 50-60%, а уровень загрязнений – не более 20%. [22]. Если показатели не соответствуют этим требованиям, то эта фракция не сортируется из общего объема ТБО. Влажность и уровень загрязнений оцениваются рабочими визуально при сортировке ТБО, а также контролируются выборочно с отбором проб на складе хранения вторсырья;

- если субстрат ТБО после сортировки предполагается использовать для получения компоста, то содержание токсичных примесей в нем должно удовлетворять требованиям для такого компоста, в зависимости от целей его дальнейшего использования. Для этого должен применяться контроль за содержанием токсичных примесей в получаемом компосте. Должно быть исключено попадание промышленных отходов в ТБО. Также при сортировке ТБО может быть поставлена дополнительная задача для рабочих по извлечению из общей массы ТБО таких компонентов, как отработанные ртутные лампы, отработанные батареи электропитания и т.п., в которых содержатся токсич-

ные вещества. Эти компоненты, извлекаемые при сортировке из ТБО, направляются на полигон промышленных отходов.

**Производительность** ЛСМ в 1000 м<sup>3</sup> ТБО в смену для г.Ижевска по получению вторичного сырья приведена в табл.7. Оценка производительности ЛСМ осуществлялась на основании наших данных (см. табл.6), а также по данным работы [5].

#### **2.2.4. Вопросы обеспечения безопасности при сортировке ТБО**

Поскольку при сортировке ТБО используется ручной труд, необходимо предусмотреть меры по обеспечению безопасности для рабочих и персонала линии сортировки.

Наиболее опасным моментом является возможный контакт человека с движущейся транспортерной лентой, в результате чего могут быть получены различные производственные травмы. Для исключения этого предусматривается осуществлять сортировку ТБО только в момент остановки транспортерной ленты. Лента может запускаться автоматически с подачей предупредительного светового или звукового сигнала. Или включаться в соответствии с принципом «все готовы», для этого к каждому рабочему месту должны быть подведены сигнальные кнопки. Линия запускается, когда получены сигналы со всех рабочих мест. Остановка ленты производится автоматически через 2-3 м. (см. п.2.2.1.). Кроме этого, необходимо также предусмотреть возможность аварийной остановки ленточного транспортера (в т.ч. с каждого рабочего места).

Таблица 7

Производительность линии сортировки ТБО по  
вторичному сырью

Производительность	в смену
По сортируемым ТБО	1000 м <sup>3</sup>
<u>По вторичному сырью:</u> - бумаге (картону): - текстилю: - пластмассе: - термопластичной - термореактивной - металлам: - черному - цветному - стеклобою: - бесцветному - цветному - резине:	до 20 т.  до 10 т.  до 5 т. до 1 т.  до 5 т. до 1 т.  до 10 т. до 10 т.  до 1 т.
Субстрату (несортируемому остатку) ТБО	150 т.



При сортировке мусора у рабочего используются руки. Так как в ТБО могут находиться различные колющие, режущие предметы, а также токсичные вещества, рабочие должны быть обеспечены плотными матерчатыми и резиновыми перчатками для защиты рук. Для упрощения сортировки ТБО рабочим могут выдаваться дополнительные предметы, которые исключают непосредственный контакт человека с ТБО: мини-грабли; нож-секач; щипцы.

Зрение рабочего также является важным условием осуществления технологического процесса сортировки. Поэтому рабочее место должно быть хорошо освещено.

От ТБО исходят вредные и неприятные запахи, связанные с ферментацией органических веществ. Для исключения воздействия этих запахов на организм человека, рабочее место должно быть оснащено вытяжной вентиляцией. Рабочим также могут выдаваться индивидуальные защитные средства органов дыхания. Может быть также предусмотрена дезодорация и санитарная обработка рабочих помещений линии сортировки ТБО, для снижения негативного воздействия производства.

Рабочая одежда также должна исключать возможный непосредственный контакт человека с ТБО. Обувь должна быть прорезиненной. Поверх одежды должен быть одет прорезиненный фартук. В холодное время года рабочие должны быть обеспечены теплой одеждой.

Для ЛСМ должна быть предусмотрена бытовка для кратковременного отдыха во время рабочей смены и приема горячей пищи. Могут быть предусмотрены душевые кабины, медицинский пункт и т.п.

Из-за наличия в ТБО пожароопасных фракций: макулатура, текстиль, пластик; линия по сортировке

ТБО, а также склад вторсырья должны быть обеспечены средствами пожаротушения.

При сортировке ТБО используются различные механические устройства, такие как ленточные транспортеры, погрузчики, прессы. Поэтому рабочие должны соблюдать правила техники безопасности при работе с этими механизмами и устройствами.

### **3. Некоторые экономические оценки ЛСМ**

#### **3.1. Затраты на строительство ЛСМ**

В табл.8 приведен перечень затрат на строительство ЛСМ «под ключ» по сортировке ТБО г.Ижевска, производительностью 1000 м<sup>3</sup>/смену. Расчет затрат сделан специалистами Механического завода «Спецтранс», г.С.Петербург. Вид линии сортировки ТБО, выпускаемой на этом предприятии приведен на рис.4. В табл.8 сделана оценка удельных капиталовложений на тонну ТБО, исходя из годовой производительности линии по сортировке ТБО. Расчет на 200 рабочих дней в году сделан для работы ЛСМ только в теплое время года, расчет на 365 рабочих дней – для круглогодичной работы ЛСМ.

Для сравнения, в табл.9 приведены капитальные затраты на строительство современных МСЗ «под ключ» в некоторых странах, а также удельные капиталовложения на тонну ТБО. Из табл.8,9 видно, что стоимость строительства ЛСМ и современного МСЗ различаются в 70-400 раз, а удельные капиталовложения на 1 тонну ТБО – в 15-70 раз.

Следует отметить, что стоимость строительства ЛСМ в каждом конкретном случае может различаться, т.е. она может быть несколько выше или ниже, приведенной в табл.8. Это зависит от возможностей заказчика, наличия вспомогательного оборудования и помещений; или необходимости дополнительного создания производственной инфраструктуры, увеличения перечня удобств для работы персонала и пр. Следует отметить, что линии сортировки ТБО изготавливаются также другими производителями, например в Московской области, Нижегородской области.

Таблица 8

Стоимость строительства «под ключ» и удельные капиталовложения ЛСМ, производительностью 1000 м<sup>3</sup> ТБО/смену для г.Ижевска (Механический завод «Спецтранс», г.С.-Петербург; ИПМ УрО РАН)

№ п/п	Наименование	Стоимость, тыс. долл. США
1	Основная технологическая линия: питающий конвейер + рабочий конвейер на 15-20 рабочих мест + пресс для прессования субстрата ТБО	193,1
2	Транспортные мусоровозы с контейнерами (для вывоза субстрата ТБО)- 2 шт.	82,8
3	Ангар 24 X 60	86,2
4	Контейнеры 0,75-0,8 м <sup>3</sup> , 20 шт.	3,4
5	Фронтальный погрузчик	86,2
6	Пресс для вторсырья	24,1
7	Склад вторичного сырья: ангар + огороженная площадка + автомобильные весы	103,4
8	Проектирование и согласование проекта	86,2
Итого:		665,4
Удельные капиталовложения, (1 смена в сутки, 200 раб.дней: произв. 40 тыс. т/год )		16,6 долл./т.ТБО
Удельные капиталовложения, (1 смена в сутки, 365 раб.дней: произв. 73 тыс. т/год )		9,1 долл./т. ТБО

Из-за относительной простоты предлагаемых решений и использования, в основном, стандартного оборудования, заинтересованная сторона может также подготовить и реализовать собственный проект линии сортировки ТБО. Однако указанные производители имеют определенный опыт в создании и эксплуатации подобных линий сортировки, что, при их привлечении к созданию ЛСМ, приведет к снижению затрат при пуско-наладочных работах.

Таблица 9

Капитальные затраты на строительство современных МСЗ  
[22]

Страна, город	Год пуска в эксплуатацию	Установленная производительность, тыс. т/год	Стоимость предприятия «под ключ», млн. долл.США	Удельные капиталовложения, долл./т. ТБО
Нидерланды, г.Вистер	1993	720	300	417
США, Штат Сев. Каролина, г.Шарлотта	1992	150	92	613
Канада, г.Монреаль	1993	600	223	372
ФРГ, г.Карнап	1987	600	280	467
ФРГ, г. Бонн	1991	210	150	715
Пуэрто-Рико	1991	300	82	273
Средние значения для США	1993	200	89,8	450
Оценка комиссии Конгресса США	-	500	200	400
Россия, Сибирь	-	262,8	50	190,3

### 3.2 Экономические показатели ЛСМ

**Прибыль производства:** Прибыль работы ЛСМ определяется из разницы между произведенной стоимостью и затратами на ее производство в соответствии с формулой:

$$П = \sum_i Пр_i Ст_i - З \quad (1),$$

где  $П$  – прибыль производства,  $Пр_i$  – количество отсортированной  $i$ -ой фракции в тоннах,  $Ст_i$  – закупочная стоимость 1 тонны  $i$ -ой фракции,  $З$  - затраты на сортировку ТБО. Здесь и в дальнейшем все значения экономических показателей будут нормироваться на одну рабочую смену.

**Затраты:** Затраты на производство вторичного сырья ЛСМ складываются, в основном, из следующих компонентов:

$$З = Зп + Тр + Эр \quad (2),$$

где  $Зп$  – расходы на заработную плату,  $Тр$ - транспортные расходы по перевозке вторичного сырья потребителю,  $Эр$ - эксплуатационные расходы, связанные с обслуживанием ЛСМ: расходы на электроэнергию, отопление, канализацию и пр.

**Транспортные расходы:** Транспортные расходы по перевозке  $i$ -ой отсортированной фракции ТБО от ЛСМ до потребителя могут быть оценены из формулы:

$$Tr_i = K_{TP,i} P_i D_i \frac{Pr_i}{\Gamma_i} \quad (3),$$

где  $P$ - стоимость перевозки  $i$ -ой фракции транспортной единицей на расстояние в 1 км.,  $D$  – длина пути для транспортировки  $i$ -ой от ЛСМ до потребителя в км.,  $\Gamma$ - грузоподъемность транспортной единицы, коэффициент  $K_{TP, i}$  в формуле (3) относится к необходимости возврата транспортной единицы от потребителя к ЛСМ, он может изменяться от 1 до 2, что будет обсуждаться далее.

Общие транспортные расходы при сортировке ТБО, с учетом сокращения объема мусора, вывозимого на полигон ТБО после сортировки, могут быть оценены из выражения:

$$Tr = \sum_i Tr_i - 2P_m D_m \frac{M}{\Gamma_m} \quad (4),$$

где  $P_m$  – стоимость перевозки мусора транспортной единицей на расстояние в 1 км.,  $D_m$ - расстояние от ЛСМ до полигона ТБО,  $M$ - величина, на которую уменьшилось количество мусора в результате сортировки,  $\Gamma_m$  – грузоподъемность транспортной единицы по перевозке субстрата ТБО, коэффициент «2» в формуле (4) означает, что спецтранспорт по вывозу мусора возвращается с полигона ТБО на ЛСМ порожним.

При анализе формулы (4) видно, что затраты на заработную плату и эксплуатационные расходы могут быть приняты примерно равными при любом размещении ЛСМ относительно потребителей вторичного сырья и полигона ТБО, в случае если не требуются дополнительные расходы на создание производствен-

ной инфраструктуры, не относящейся непосредственно к ЛСМ. Транспортные же расходы зависят от места расположения ЛСМ относительно потребителей вторичного сырья и полигона ТБО. Из формулы (4) видно, что транспортные расходы являются минимальными при размещении ЛСМ непосредственно у потребителя вторичного сырья. Максимальными транспортные расходы будут в случае размещения ЛСМ на полигоне ТБО. Так как потребителей вторичного сырья может быть несколько, то оптимальным вариантом является промежуточное расположение ЛСМ. Поскольку потребители вторсырья, как правило, располагаются в городах, а ЛСМ по санитарно-гигиеническим показателям не могут находиться в пределах города, то для сокращения транспортных расходов ЛСМ целесообразно размещать незначительно удаленными от черты города. Опыт создания таких ЛСМ показывает, что оптимальным является их размещение на мусороперегрузочных станциях крупных городов (см п.2). В этом случае совмещаются 2 операции по обработке ТБО: перегрузка и сортировка мусора. Для небольших городов, не имеющих специальных мусороперегрузочных станций, ЛСМ важно размещать незначительно удаленными от потребителя вторичных ресурсов. Для этих городов ЛСМ могут также использоваться в качестве мусороперегрузочных станций, что даст дополнительный экономический эффект по обработке ТБО.

В общем случае коэффициенты  $K_{TP, i}$  равны 2, что означает необходимость возврата порожнего автомобиля на ЛСМ после доставки вторичного сырья потребителю. Однако  $K_{TP, i}$  могут быть меньше 2 в случае, если транспорт снова используется хозяйствующим субъектом, обслуживающим ЛСМ, после разгрузки вторсырья у потребителя. В качестве одного из вари-



антов можно рассмотреть использование территории, на которой расположена ЛСМ и ее производственная инфраструктура для организации склада оптовой торговли изделий из вторичного сырья. В этом случае транспорт после доставки вторичного сырья потребителю (производителю изделий из вторичного сырья) используется для перевозки в обратном направлении изделий из вторичного сырья. В этом случае  $K_{TP, i}$  может быть снижен до значений близких к 1, что увеличит рентабельность перевозок. Схема такого подхода изображена на рис.5. Из схемы видно, что в такой организации перевозок возможны взаиморасчетные схемы между хозяйствующим субъектом, обслуживающим ЛСМ, и потребителями вторсырья- производителями изделий из вторсырья. Как отмечалось выше, размещать ЛСМ целесообразно вблизи городов, что также является удобным для использования предложенной схемы транспортировок.

**Окупаемость:** Период окупаемости ЛСМ определяется из выражения:

$$O_k = \frac{C_{СТ}}{П} \quad (5),$$

где  $O_k$  - период окупаемости ЛСМ,  $C_{СТ}$  – стоимость строительства ЛСМ (см. п.3.1).

### 3.3. Оценка рентабельности ЛСМ

Проведем анализ рентабельности создания ЛСМ для г.Ижевска, производительностью 1000 м<sup>3</sup>/ смену. На рис.1 приведена схема расположения полигона ТБО, мусороперегрузочной станции и АО «Вторресурсы», которое будет рассматриваться нами в качестве потребителя вторичного сырья, получаемого при сортировке ТБО на ЛСМ.

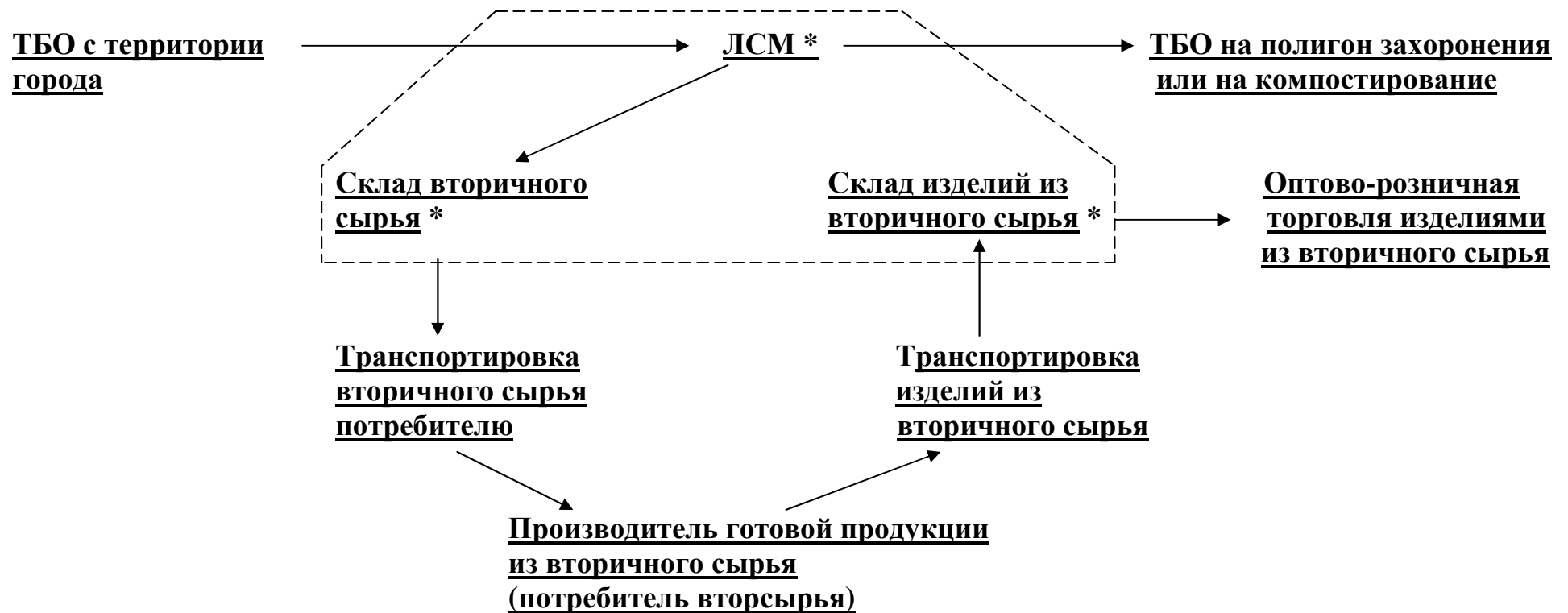
Для расчета сделаем предположение, что эксплуатационные расходы и расходы на заработную плату приблизительно равны (т.е.  $Эр \approx Зп$  в формуле (2)). Предполагаем, что на ЛСМ работает 20 рабочих со средней заработной платой в 300 долл./месяц. Таким образом, сумма  $Эр + Зп$  будет составлять около 400 долл./смену. Расстояние между мусоросортировочной станцией и АО «Вторресурсы» составляет приблизительно 5 км. (см. рис.1). Расстояние между мусороперегрузочной станцией и полигоном ТБО на Нылгинском тракте составляет около 35 км. Таким образом, расстояние от полигона ТБО до АО «Вторресурсы» примерно равно 40 км. Если предположить, что потребителем всего вторичного сырья, получаемого при сортировке ТБО будет АО «Вторресурсы», а ЛСМ будет располагаться между ним и полигоном ТБО, при этом транспорт в обратном направлении от АО «Вторресурсы» до ЛСМ движется порожним, то можно записать следующие равенства:

$$\begin{aligned} Эр &\approx Зп = 200 \quad \text{долл./смену} \\ Д_1 &= Д_2 = \dots = Д_i = Д \quad (6) \\ Д + Д_{,м} &= 40 \text{ км} \\ К_{ТР, i} &= 2 \end{aligned}$$

Примем, что вторичные ресурсы вывозятся с ЛСМ потребителю грузовыми автомобилями типа ГАЗ, ЗИЛ, грузоподъемностью 3 тонны с расходом топлива в 30 литров бензина А-76 на 100 км. пробега, а остатки мусора вывозятся на полигон ТБО спецавтомобилями КАМАЗ, перевозящими 40 м<sup>3</sup> ТБО с расходом в 35 литров дизельного топлива на 100 км. Также будем считать, что АО «Вторресурсы» принимает вторичное сырье по закупочным ценам, приведенным в табл.5. Экономические показатели, связанные с извлечением пластмассы из ТБО, в расчетах не учитывались, т.к. АО «Вторресурсы» не специализируется на закупке этого вида вторичного сырья.

На основании сделанных предположений, в табл.10 и на рис.6 приведена оценка рентабельности ЛСМ в зависимости от возможного места расположения ЛСМ между полигоном ТБО и возможным потребителем вторичного сырья. Как отмечалось выше, наибольшая прибыль может быть получена при расположении ЛСМ непосредственно у потребителя вторичных ресурсов. Наименьшая прибыль – при расположении ЛСМ на полигоне ТБО. Из-за необходимости размещения ЛСМ в некотором удалении от городской черты, целесообразно ее размещение на мусоросортировочной станции. В этом случае ЛМС удалена из города и достаточно близко расположена к потребителю вторресурсов.

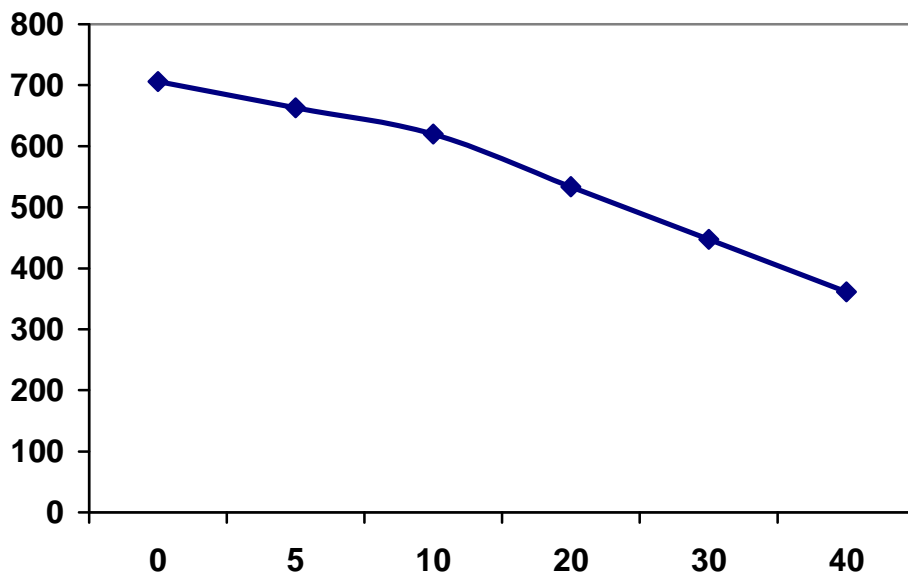
В табл.10 для оценки рентабельности ЛСМ используется значение суммы произведенной стоимости различных фракций. Однако, из табл.1 видно, что закупочная стоимость различных фракций вторресурсов различна. Поэтому различной является также рентабельность перевозки той или иной фракции. Кроме этого, следует учитывать, что потребите-



\*Примечание: Принадлежат одному хозяйствующему субъекту, расположены недалеко друг от друга.

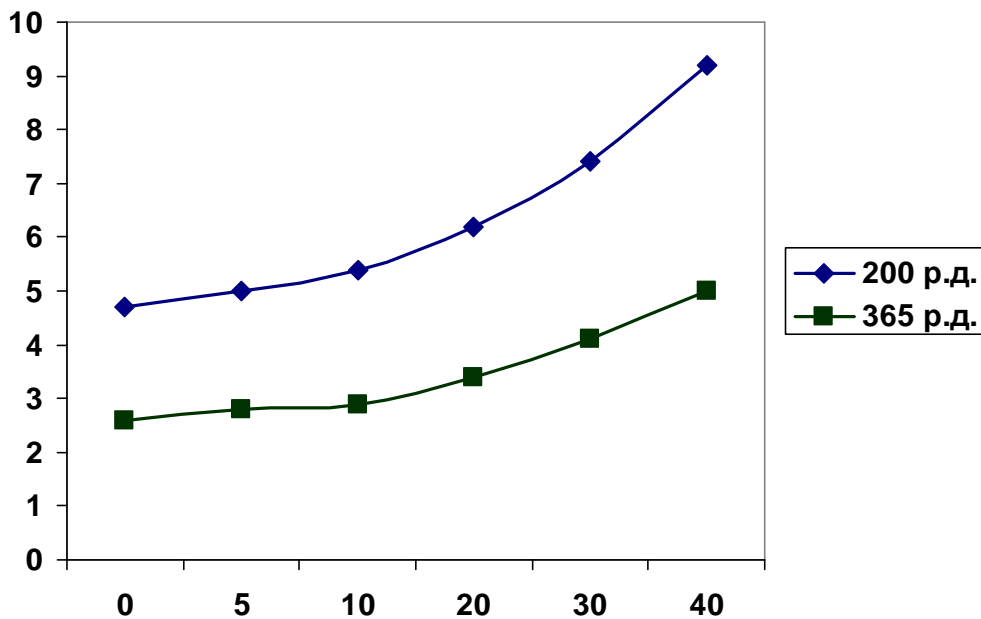
Рис.5. Одна из возможных схем снижения транспортных расходов при перевозке вторичного сырья от ЛСМ потребителям вторресурсов.

$\Pi$ , долл./смену



$Д$ , км

$Ок$ , лет



$Д$ , км

Рис.6. Прибыль производства вторичных ресурсов ( $\Pi$ ) на ЛСМ, производительностью  $1000 \text{ м}^3/\text{смену}$ , и окупаемость производства ( $Ок$ ) при 200 и 365 рабочих днях в году в зависимости от длины пути транспортировки вторсырья ( $Д$ ) для г.Ижевска

лей вторичного сырья может быть несколько и они могут располагаться на значительном удалении от ЛСМ. В табл.11 и на рис.7 приведены значения прибыли, получаемой для каждой отдельной отсортированной фракции в зависимости от длины пути при транспортировке вторичных ресурсов от ЛСМ потребителю (до 100 км.).

Таблица 11

Рентабельность работы ЛСМ по различным видам вторсырья в зависимости от расстояния между ЛСМ и потребителем для г. Ижевска

Расст. от ЛСМ до потребителя, Д, км	Прибыль, долл./смену				
	Бумага	Тек- стиль	Стекло- бой	Черный метал- лолом	Цветной металло- лом
0	449,4	174,7	49,4	37,4	148,5
10	428,5	164,4	28,5	32,1	147,6
20	407,6	154,1	7,6	26,8	146,7
30	386,7	143,8	- 13,3	21,5	145,8
40	365,8	133,5	- 34,2	16,2	144,9
50	344,9	123,2	- 55,1	10,9	144,0
60	324,0	112,9	- 76,0	5,6	143,1
70	303,1	102,6	- 96,9	0,3	142,2
80	282,2	92,3	- 117,8	- 5,0	141,3
90	261,3	82,0	- 138,7	- 10,3	140,4
100	240,4	71,7	- 159,6	- 15,6	139,5

$\Pi$ , долл/смену

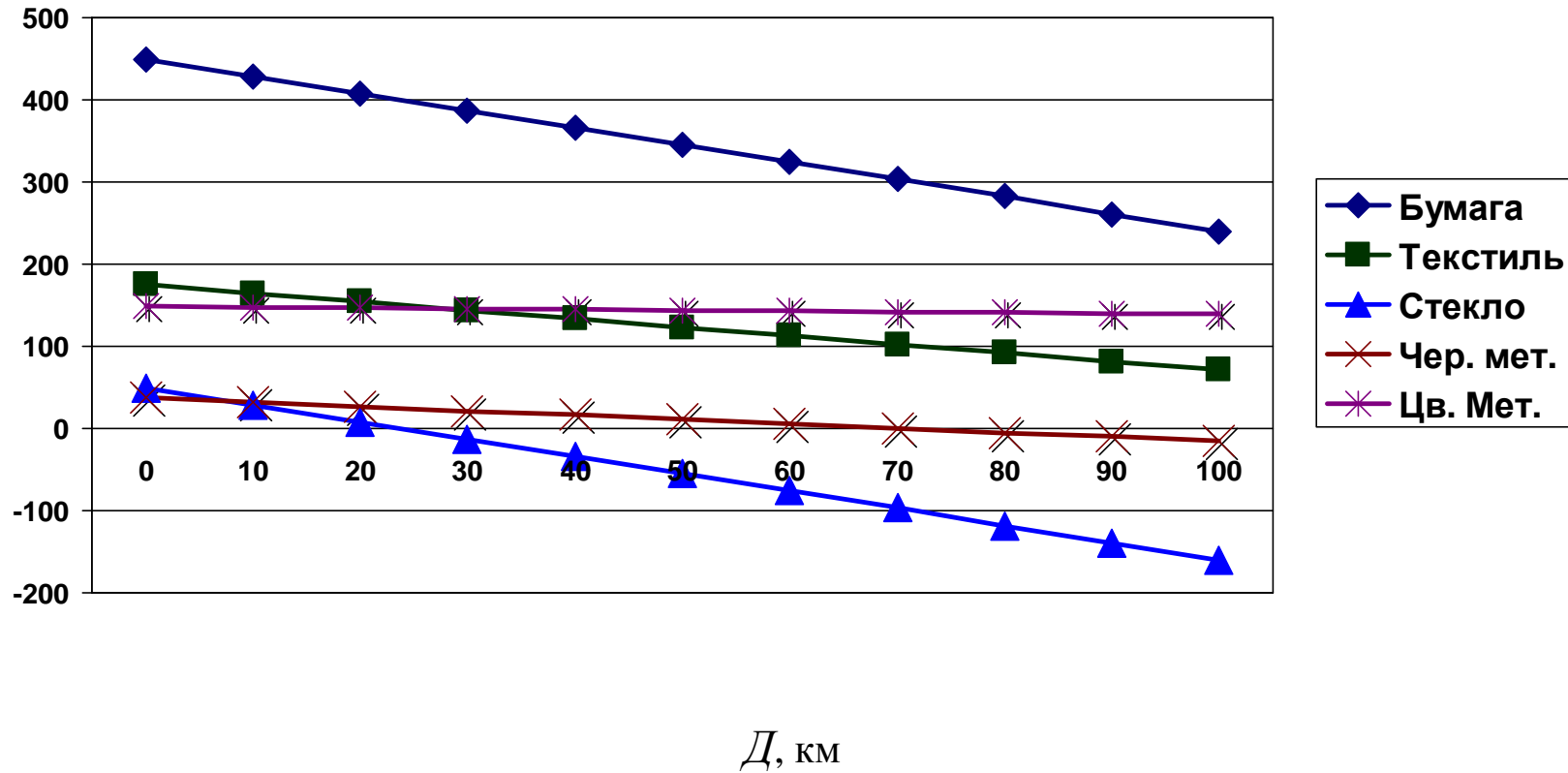


Рис.7. Рентабельность работы ЛСМ по различным видам вторсырья в зависимости от расстояния между ЛСМ и потребителем для г. Ижевска

Для оценки рентабельности транспортировки фракции введем коэффициент –  $L_i$ , равный отношению произведенной стоимости фракции к транспортным расходам по ее перевозке к потребителю:

$$L_i = \frac{Pr_i C m_i}{Tr_i} = \frac{C m_i \Gamma_i}{2 P_i D_i} \quad (7)$$

Очевидно, что чем выше коэффициент  $L_i$ , тем рентабельнее транспортировка вторичных ресурсов. При значениях  $L_i < 1$ , перевозка становится полностью убыточной: произведенная стоимость извлеченной фракции не может покрыть транспортных расходов. Критическое расстояние, при котором транспортные расходы становятся равными произведенной стоимости отсортированной фракции, может быть определено при значении  $L_i = 1$ :

$$D_i^* = \frac{C m_i \Gamma_i}{2 P_i} \quad (8)$$

Расстояние большее, чем  $D_i^*$  для транспортировки отдельной фракции приводит к убыточности ее перевозок. Из формулы (8) видно, что  $D_i^*$  зависит от закупочной стоимости вторичного сырья и технических характеристик транспортного средства, на котором это вторсырье перевозится. В табл.12 приведены значения  $D_i^*$  для отдельных видов вторичных ресурсов, а также величины коэффициента  $L_i$  для транспортировки различных фракций вторичных ресурсов на 100 км.



Таблица 12

Зависимость коэффициента  $L_i$  для различных видов вторичного сырья, получаемого при сортировке ТБО от расстояния между ЛСМ и потребителем и значения  $D_i^*$  для каждой фракции

Значения	Бумага	Тек- стиль	Стекло- бой	Черный метал- лолом	Цветной Метал- лолом
$L_i:$					
$D, \text{ км}$					
0	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
5	48,0	38,4	9,6	19,2	321,2
10	24,0	19,2	4,8	9,6	160,6
20	12,0	9,6	2,4	4,8	80,2
30	8,0	6,4	1,6	3,2	53,5
40	6,0	4,8	1,2	2,4	40,1
50	4,8	3,8	<b><u>1,0</u></b>	1,9	32,1
60	4,0	3,2	0,8	1,6	26,8
70	3,4	2,7	0,7	1,4	22,9
80	3,0	2,4	0,6	1,2	20,1
90	2,7	2,1	0,5	1,1	17,8
100	2,4	1,9	0,5	<b><u>1,0</u></b>	16,1
$D^*, \text{ км}$	240,4	192,3	48,1	96,2	1605,8

Из табл.12 видно, что наименьшими значениями  $D_i^*$  характеризуются стекломбой и черным металлолом. Для этих видов вторичных ресурсов потребители должны быть незначительно удалены от ЛСМ, менее, чем на 50-100 км. Для макулатуры и текстиля потребители сырья могут быть удалены от ЛСМ более, чем на 100-150 км. Наиболее рентабельной является транспортировка металлолома цветных металлов. В этом случае потребитель может находиться на расстоянии более 1000 км.

На основании проведенной оценки экономических показателей ЛСМ для г.Ижевска, производительностью 1000 м<sup>3</sup> ТБО в смену, можно сделать вывод, что ЛСМ является рентабельной и может окупиться за 3-5 лет при реализации вторичного сырья. Предпочтительным является размещение ЛСМ на мусороперегрузочной станции.

#### **4. Зависимость свойств мусора от сортировки на ЛСМ**

В результате сортировки происходит изменение свойств получаемого субстрата ТБО, что может сказаться при их утилизации различными способами, а также при захоронении на специализированном полигоне.

Для изучения зависимости свойств ТБО от степени их сортировки нами использовались данные исследований, проведенных Академией коммунального хозяйства (АКХ им. К.Д.Памфилова), г.Москва, для ТБО г.Ижевска [5]. В этих исследованиях были определены средние значения морфологического состава, также теплотехнические параметры ТБО г.Ижевска и агрохимические показатели компоста из ТБО в летний, осенний и зимний период времени. Методика определения средних значений различных параметров ТБО приведена в работе [5]. Нами в качестве исходных данных были взяты результаты этих исследований и проведена оценка свойств ТБО при различной степени извлечения отдельных фракций (в % масс.), которые могут использоваться в качестве вторичного сырья. Перечень рассматриваемых сортируемых и несортируемых фракций в ТБО на ЛСМ приведен в табл.13. Следует также разделить работу ЛСМ по степени извлечения сортируемых фракций. В табл.14 приведено разделение работы ЛСМ по степени извлечения сортируемых фракций и общая характеристика такой работы. В табл.15-17 приведены результаты расчета средних значений морфологического состава ТБО г.Ижевска при различной степени извлечения сортируемых фракций. Нужно отметить, что приведенная в табл.15-17 и далее, степень извлечения фрак-

Таблица 13

## Разделение фракций ТБО для ЛСМ

Вид фракций для ЛСМ	Наименование фракций
Сортируемые	Бумага (картон), черный металлолом, цветной металлолом, резина, кожа, текстиль, стекло, пластмасса
Несортируемые	Пищевые отходы, садовые отходы, дерево*, кости животных*, строительный мусор, камни*, отсев фракций, менее 16 мм

Таблица 14

## Разделение работы ЛСМ по степени извлечения сортируемых фракций

Степень извлечения сортируемой фракции	Извлечение фракции, % от исходного содержания	Примечание
Низкая	< 40 %	<u>Возможные причины:</u> низкое исходное содержание фракции в ТБО; высокая производительность ЛСМ при относительно низком числе рабочих; отсутствует экономическая заинтересованность в извлечении фракции; по техническим причинам и др.
Наиболее вероятная	40-60 %	Определяется по результатам сортировки ТБО
Высокая	> 60%	<u>Возможные причины:</u> имеется экономическая заинтересованность в извлечении фракции; требуется специальное улучшение характеристик субстрата ТБО для получения компостов и др.

\*Примечание: эти фракции могут дополнительно извлекаться из ТБО при необходимости улучшения агрохимических характеристик субстрата ТБО для получения компостов

ций в 100%, не имеет практического значения и показывает лишь возможное предельное значение рассматриваемых параметров субстрата ТБО, которое можно получить при сортировке. Очевидно, что степень извлечения отдельных сортируемых фракций при работе ЛСМ будет различной, однако для удобства расчета параметров субстрата ТБО в табл.15-17 и далее, предполагали, что она одинакова.

Таблица 15

Средний расчетный морфологический состав ТБО г.Ижевска в летний период (% масс.), в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций

Фракция	Степень извлечения сортируемых фракций, % от исходного содержания					
	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
Бумага	20,4	18,1	15,2	11,6	6,7	0
Пищевые отходы	35,6	39,6	44,4	50,4	58,4	69,8
Садовые отходы	2,9	3,2	3,6	4,1	4,8	5,7
Дерево	0,9	1,0	1,1	1,3	1,5	1,8
Черный металлолом	4,3	3,8	3,2	2,4	1,5	0
Цветной металлолом	1,6	1,4	1,2	0,8	0,5	0
Кости животных	1,9	2,1	2,4	2,7	3,1	3,7
Резина, кожа	1,8	1,6	1,4	1,0	0,7	0
Текстиль	8,7	7,8	6,5	5,0	2,8	0
Стекло	6,8	6,0	5,1	3,8	2,3	0
Строительный мусор, камни	1,4	1,6	1,7	2,0	2,3	2,7
Пластмасса	5,3	4,6	3,9	3,1	1,8	0
Отсев фракций, менее 16 мм	8,3	9,2	10,3	11,8	13,6	16,3

Таблица 16

Средний расчетный морфологический состав ТБО г.Ижевска  
в осенний период (% масс.), в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций

Фракция	Степень извлечения сортируемых фракций, % от исходного содержания					
	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
Бумага	17,6	15,3	12,5	9,2	5,1	0
Пищевые отходы	41,1	44,5	48,7	53,8	59,8	67,6
Садовые отходы	8,1	8,8	9,6	10,6	11,8	13,3
Дерево	2,2	2,4	2,6	2,9	3,2	3,6
Черный металлолом	3,6	3,1	2,6	1,8	1,0	0
Цветной металлолом	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2	0
Кости животных	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6
Резина, кожа	1,4	1,2	0,9	0,7	0,4	0
Текстиль	7,0	6,1	5,0	3,7	2,0	0
Стекло	2,8	2,4	2,0	1,4	0,9	0
Строительный мусор, камни	0,8	0,9	0,9	1,0	1,2	1,3
Пластмасса	6,1	5,3	4,4	3,1	1,8	0
Отсев фракций, менее 16 мм	7,7	8,3	9,1	10,1	11,2	12,6

Таблица 17

Средний расчетный морфологический состав ТБО г.Ижевска  
в зимний период (% масс.), в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций

Фракция	Степень извлечения сортируемых фракций, % от исходного содержания					
	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
Бумага	20,0	17,4	14,3	10,6	6,0	0
Пищевые отходы	44,8	48,9	53,6	59,7	67,0	76,2
Садовые отходы	0	0	0	0	0	0
Дерево	1,7	1,8	2,0	2,3	2,5	2,9
Черный металлолом	3,0	2,6	2,2	1,6	0,9	0
Цветной металлолом	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0
Кости животных	2,5	2,7	3,0	3,3	3,7	4,3
Резина, кожа	3,0	2,6	2,2	1,6	0,9	0
Текстиль	5,5	4,8	3,9	2,9	1,6	0
Стекло	5,6	4,9	4,1	2,9	1,6	0
Строительный мусор, камни	1,6	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7
Пластмасса	3,6	3,2	2,6	1,8	1,0	0
Отсев фракций, менее 16 мм	8,2	8,9	9,8	10,9	12,2	13,9

#### 4.1. Влияние сортировки на теплотехнические характеристики ТБО

Для расчета теплотехнических характеристики и других свойств мусора предполагается, что рабочую массу ТБО составляют следующие компоненты [5]:

$$C^P + H^P + O^P + S^P + N^P + A^P + W = 100 (\%) \quad (9),$$

где  $C^P$ ,  $H^P$ ,  $O^P$ ,  $S^P$ ,  $N^P$  - содержание углерода, водорода, кислорода, серы, азота (% масс.) в рабочей массе ТБО;  $A^P$  – зольность рабочей массы ТБО (% масс.);  $W$  - влажность ТБО (% масс.). Влажность и зольность являются балластом рабочей массы ТБО.

Состав сухой массы ТБО может быть рассчитан по формуле:

$$C^C + H^C + O^C + S^C + N^C + A^C = 100 (\%) \quad (10),$$

где  $C^C$ ,  $H^C$ ,  $O^C$ ,  $S^C$ ,  $N^C$  - содержание углерода, водорода, кислорода, серы, азота (% масс.) в сухой массе ТБО;  $A^C$  – зольность сухой массы ТБО (% масс.).

Следующие составляющие являются компонентами горючей массы ТБО:

$$C^G + H^G + O^G + S^G + N^G = 100 (\%) \quad (11),$$

где  $C^G$ ,  $H^G$ ,  $O^G$ ,  $S^G$ ,  $N^G$  – содержание углерода, водорода, кислорода, серы, азота (% масс.) в горючей массе ТБО.

Зная морфологический состав ТБО и содержание отдельных элементов в них, можно определить содержание компонентов всей массы рассматриваемых отходов. В дальнейшем, отношение того или иного эле-



мента к общей массе ТБО будет помечаться индексом «*общ*», отношение элемента к отдельной фракции ТБО – индексом «*i*».

Удельная низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу определяется из разницы теплоты, выделяющейся при сгорании горючих компонентов ТБО и теплоты необходимой для испарения воды, образующейся при сгорании топлива и влаги, содержащейся в ТБО. Удельная низшая теплота сгорания может быть рассчитана из формулы Менделеева [27]:

$$Q_n^p = 4.18 [ 81 C_{общ}^p + 300 H_{общ}^p - 26 ( O_{общ}^p - S_{общ}^p ) - 6 ( 9 H_{общ}^p + W_{общ} ) ], \text{ кДж/кг} \quad (12),$$

где  $C_{общ}^p$ ,  $H_{общ}^p$ ,  $O_{общ}^p$ ,  $S_{общ}^p$  - общее содержание углерода, водорода, кислорода, и серы в ТБО на рабочую массу (в % масс.).  $W_{общ}$  – общая влажность ТБО.

Общее содержание различных химических элементов на рабочую массу ТБО определяется по формулам:

$$\begin{aligned} C_{общ}^p &= 0,01 \sum_i C_i^p x_i ; & H_{общ}^p &= 0,01 \sum_i H_i^p x_i \\ O_{общ}^p &= 0,01 \sum_i O_i^p x_i ; & S_{общ}^p &= 0,01 \sum_i S_i^p x_i \\ N_{общ}^p &= 0,01 \sum_i N_i^p x_i \end{aligned} \quad (13)$$

где  $x_i$  – содержание отдельных фракций в ТБО (в % масс);  $C_i^p, H_i^p, O_i^p, S_i^p, N_i^p$  - содержание химических элементов в каждой из рассматриваемых фракций на рабочую массу ТБО.

Содержание элементов в различных фракциях ТБО определяется по формулам:

$$\begin{aligned}
 C_i^p &= C_i^r \left( \frac{100 - W_i - A_i^p}{100} \right) ; & H_i^p &= H_i^r \left( \frac{100 - W_i - A_i^p}{100} \right); \\
 O_i^p &= O_i^r \left( \frac{100 - W_i - A_i^p}{100} \right) ; & S_i^p &= S_i^r \left( \frac{100 - W_i - A_i^p}{100} \right) ; \\
 N_i^p &= N_i^r \left( \frac{100 - W_i - A_i^p}{100} \right),
 \end{aligned} \quad (14)$$

где  $C_i^r, H_i^r, O_i^r, S_i^r, N_i^r$  - содержание химических элементов на горючую массу отдельных фракций ТБО,  $W_i$  – влажность отдельных фракций ТБО;  $A_i^p$  - зольность отдельных фракций ТБО на рабочую массу. В табл.18 приведены значения  $C_i^r, H_i^r, O_i^r, S_i^r, N_i^r$  для различных фракций ТБО по данным [5].

Общая влажность и зольность на рабочую массу ТБО определяется по формулам:

$$W_{общ} = 0,01 \sum_i W_i x_i \quad (15)$$

$$A_{общ}^p = 0,01 \sum_i A_i^p x_i \quad (16)$$

Общая зольность на сухую массу ТБО определяется по формуле:

$$A_{общ}^c = A_{общ}^p \left( \frac{100}{100 - W_{общ}} \right) \quad (17)$$

Таблица 18

Содержание элементов  $C_i^G, H_i^G, O_i^G, S_i^G, N_i^G$  (% масс.)  
в горючей массе ТБО [5].

Наименование фракции	Содержание элементов, % масс				
	$C^G$	$H^G$	$O^G$	$S^G$	$N^G$
Бумага	46,2	6,2	47,1	0,2	0,3
Пищевые отходы	53,6	7,7	34,1	0,6	4,0
Садовые отходы	51,0	6,1	42,6	0,1	0,2
Дерево	51,0	6,1	42,6	0,1	0,2
Резина, кожа	77,9	6,0	15,1	0,7	0,3
Текстиль	56,1	6,8	32,2	0,1	4,8
Пластмасса	67,7	9,3	21,5	0,4	1,1
Отсев фракций, менее 16 мм	46,4	6,3	47,0	0,3	0

Кроме  $Q_n^p$ , рассчитывалась также удельная низшая теплота сгорания на сухую массу ТБО ( $Q_n^c$ ) с учетом содержания элементов в сухом веществе и отсутствия влажности в ТБО [27]:

$$Q_n^c = 4.18 [ 81 C_{общ}^c + 246 H_{общ}^c - 26 ( O_{общ}^c - S_{общ}^c ) ], \text{ кДж/кг} \quad (18)$$

В табл. 19-21 приведены значения содержания элементов в ТБО -  $C_{общ}^p, H_{общ}^p, O_{общ}^p, S_{общ}^p, N_{общ}^p$ ; удельные низшие теплоты сгорания на рабочую и сухую массу ТБО; влажность, зольность в ТБО г.Ижевска в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций из ТБО для различных времен года. На рис.8 приведены зависимости низшей теплоты сгорания на рабочую

( $Q_n^p$ ) и сухую ( $Q_n^c$ ) массу ТБО от степени извлечения сортируемых фракций из мусора. На рис.9 приведены зависимости влажности и зольности от степени извлечения сортируемых фракций из ТБО.

Из сделанных расчетов свойств ТБО в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций, которые могут использоваться в качестве вторичного сырья видно, что содержание органического вещества и общая влажность ТБО в зависимости от степени извлечения фракций возрастают. При сортировке удельная теплота сгорания ТБО на рабочую массу снижается, за счет увеличения общей влажности, при этом удельная теплота сгорания на сухую массу ТБО несколько возрастает.

Из сделанного анализа свойств ТБО в зависимости от степени извлечения отдельных фракций, которые могут рассматриваться в качестве вторичного сырья, можно сделать вывод, что при сортировке ТБО ценность использования мусора в качестве топлива снижается. Удельная низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу после сортировки в зависимости от времени года меньше низшей теплоты сгорания каменного угля в 6-10 раз. Одновременно увеличивается ценность использования их в качестве материала для получения компостов за счет увеличения содержания органического вещества и общей влажности отходов, ускоряющей процессы ферментации ТБО. За счет увеличения доли влажных фракций при сортировке, также увеличивается общая плотность ТБО, что может снизить удельную площадь компостных площадок или полигонов ТБО для размещения 1 м<sup>3</sup> отходов.

Таблица 19

Свойства ТБО г.Ижевска для летнего периода в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций. Расчет сделан по среднему составу ТБО (см. табл.15).

Свойства ТБО	Степень извлечения сортируемых фракций, % от исходного содержания					
	0	20	40	60	80	100
Содержание углерода, $C_{общ}^p$ , % масс	20,4	20,1	19,2	18,6	17,4	15,8
Содержание водорода $H_{общ}^p$ , % масс	2,7	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2
Содержание кислорода $O_{общ}^p$ , % масс	14,4	14,2	13,6	13,3	12,5	11,4
Содержание серы $S_{общ}^p$ , % масс	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Содержание азота $N_{общ}^p$ , % масс	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Влажность, $W_{общ}$ , %.	40,1	42,6	45,7	48,4	52,6	59,2
Зольность, $A_{общ}^p$ , % масс.	21,5	19,4	17,8	16,1	14,0	10,3
Зольность, $A_{общ}^c$ , % масс.	35,3	34,2	34,0	31,3	29,7	26,9
Удельная теплота сгорания, $Q_n^p$ , кДж/кг раб. массы	7273,6	7024,8	6671,3	6345,7	5799,8	5059,1
Удельная теплота сгорания, $Q_n^c$ , кДж/кг. сух. массы	14085,4	14132,0	14494,2	14680,6	15051,8	16343,3

Таблица 20

Свойства ТБО г.Ижевска для осеннего периода в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций. Расчет сделан по среднему составу ТБО (см. табл.16).

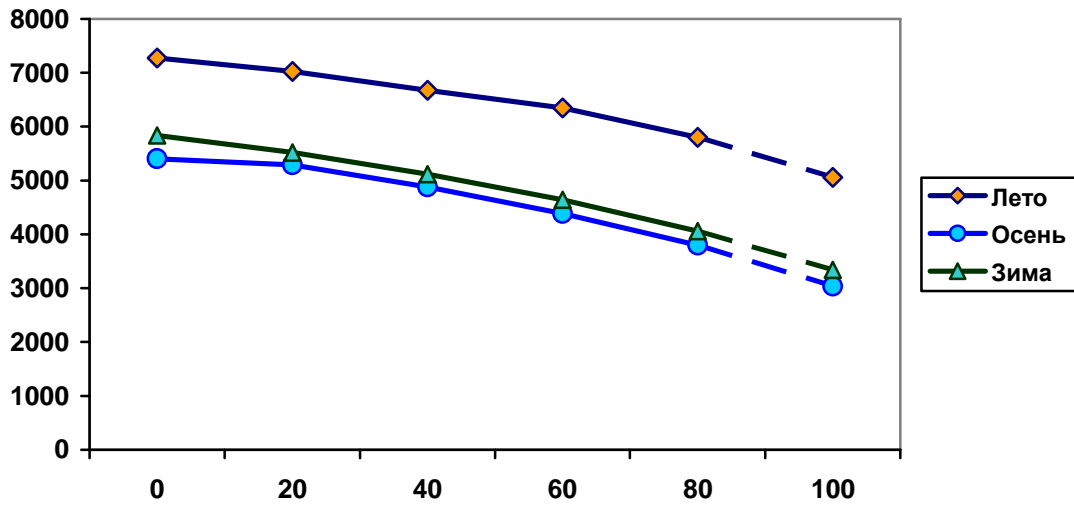
Свойства ТБО	Степень извлечения сортируемых фракций, % от исходного содержания					
	0	20	40	60	80	100
Содержание углерода, $C_{общ}^p$ , % масс	16,8	16,3	15,5	14,4	13,2	11,6
Содержание водорода $H_{общ}^p$ , % масс	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6
Содержание кислорода $O_{общ}^p$ , % масс	11,4	11,0	10,6	10,1	9,4	8,6
Содержание серы $S_{общ}^p$ , % масс	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Содержание азота $N_{общ}^p$ , % масс	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6
Влажность, $W_{общ}$ , %.	53,6	56,5	58,8	61,7	65,1	69,5
Зольность, $A_{общ}^p$ , % масс.	15,1	13,1	12,2	11,0	9,7	8,0
Зольность, $A_{общ}^c$ , % масс.	31,9	30,2	29,8	28,8	28,1	26,5
Удельная теплота сгорания, $Q_n^p$ , кДж/кг раб. массы	5404,7	5291,4	4883,5	4388,0	3796,0	3033,8
Удельная теплота сгорания, $Q_n^c$ , кДж/кг. сух. массы	15079,1	15421,8	15484,6	15593,9	15602,1	15703,6

Таблица 21

Свойства ТБО г.Ижевска для зимнего периода в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций. Расчет сделан по среднему составу ТБО (см. табл.17).

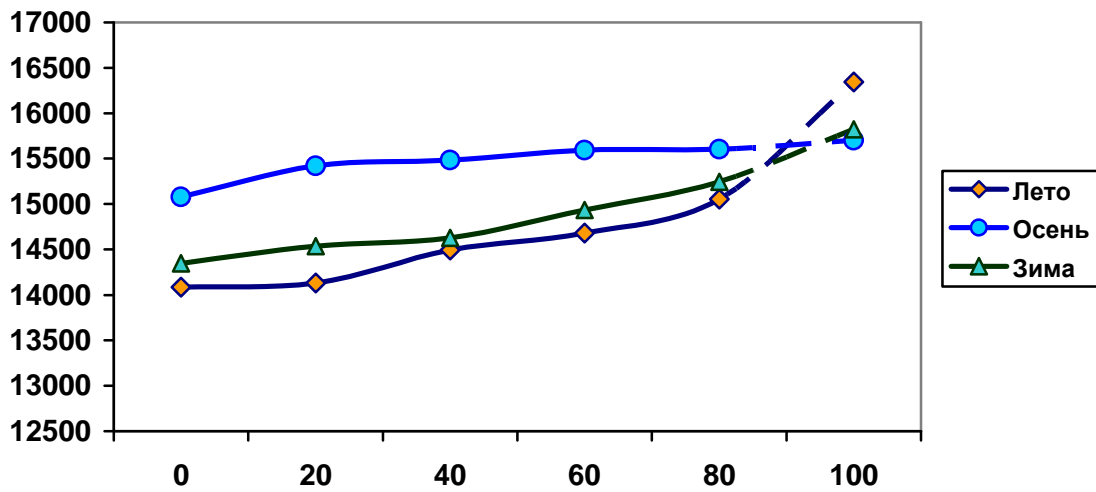
Свойства ТБО	Степень извлечения сортируемых фракций, % от исходн.					
	0	20	40	60	80	100
Содержание углерода, $C_{общ}^p$ , % масс	17,7	17,1	16,2	15,2	13,9	12,3
Содержание водорода $H_{общ}^p$ , % масс	2,5	2,2	2,1	2,0	1,9	1,7
Содержание кислорода $O_{общ}^p$ , % масс	12,4	12,0	11,4	10,7	9,9	8,8
Содержание серы $S_{общ}^p$ , % масс	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Содержание азота $N_{общ}^p$ , % масс	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Влажность, $W_{общ}$ , %.	50,4	52,8	55,5	58,9	62,9	68,1
Зольность, $A_{общ}^p$ , % масс.	16,2	15,1	14,0	12,4	10,6	8,3
Зольность, $A_{общ}^c$ , % масс.	32,8	32,1	31,6	30,2	28,7	26,0
Удельная теплота сгорания, $Q_n^p$ , кДж/кг раб. массы	5832,0	5519,3	5116,3	4643,1	4059,6	3341,1
Удельная теплота сгорания, $Q_n^c$ , кДж/кг. сух. массы	14346,5	14535,0	14625,4	14933,9	15242,4	15821,4

$Q_n^p$ , кДж/кг



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

$Q_n^c$ , кДж/кг

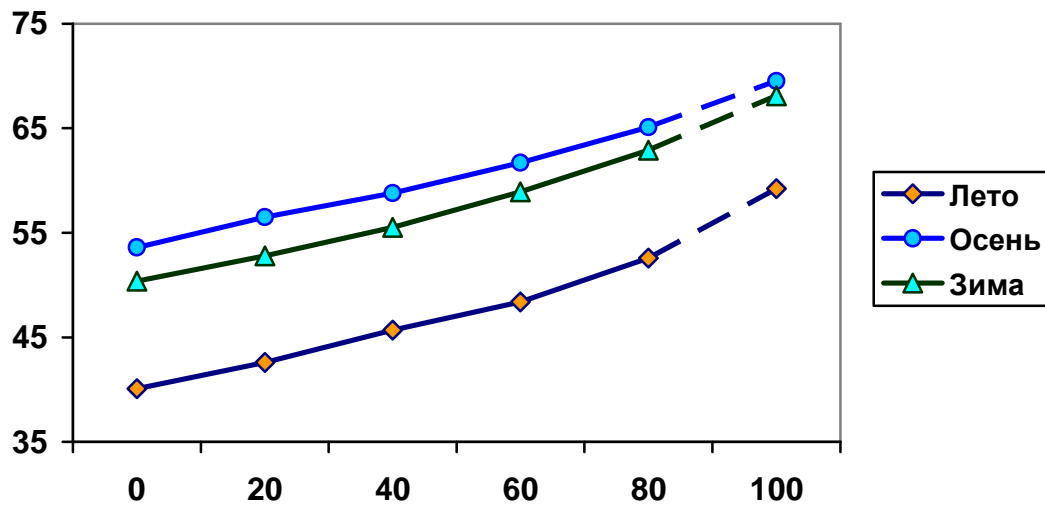


Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

Рис.8 Зависимость удельной низшей теплоты сгорания на рабочую ( $Q_n^p$ ) и сухую ( $Q_n^c$ ) массу ТБО от степени извлечения сортируемых фракций.

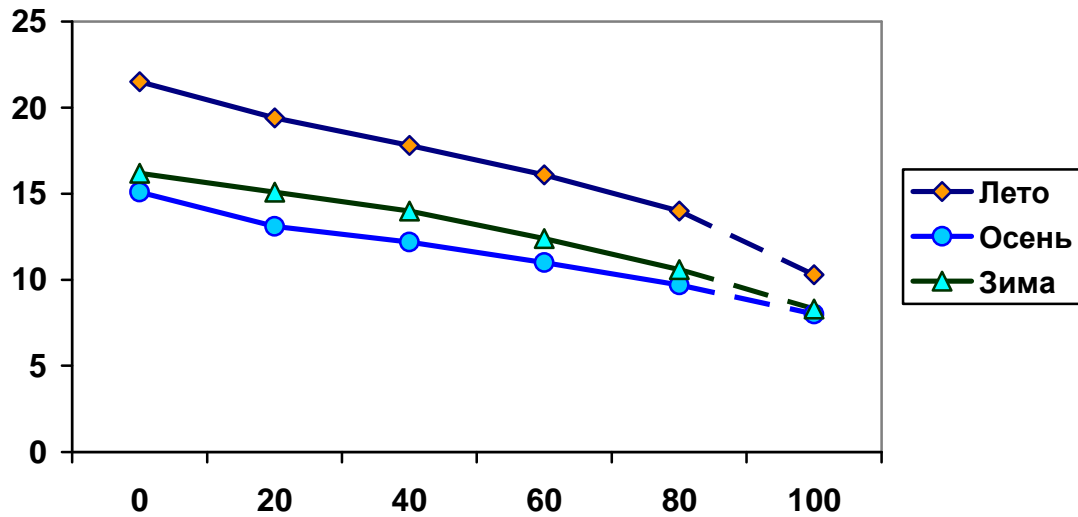


$W_{общ}, \%$ .



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

$A_{общ}^p, \% \text{ масс.}$



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

Рис.9 приведены зависимости влажности и зольности от степени извлечения сортируемых фракций из ТБО.

При уменьшении значений теплоты сгорания ТБО снижается риск самовозгорания ТБО на полигонах захоронения. Возгорание полигонов, свалок ТБО, см. рис.10, является причиной загрязнения атмосферы и других объектов окружающей среды ПХДД/Ф, ПХБ и другими токсичными веществами [13,14]. Из табл.19-21 и рис.8 видно, что значение  $Q_n^p$  в летний период, когда наибольшая вероятность возгораний полигонов ТБО, после сортировки снижается на 20-30% и приближается к значениям  $Q_n^p$  для несортированных ТБО в осенне-зимний период.

#### **4.2. Влияние сортировки на агрохимические показатели компоста из субстрата ТБО**

Для расчета агрохимических показателей компоста из субстрата ТБО, полученного на ЛСМ, все фракции мусора можно разделить на 3 группы (см. табл.22) [5]:

- В первую группу отнесены фракции, биологически легко разлагаемые и легко перерабатываемые механически в процессе ускоренного биотермического обезвреживания;

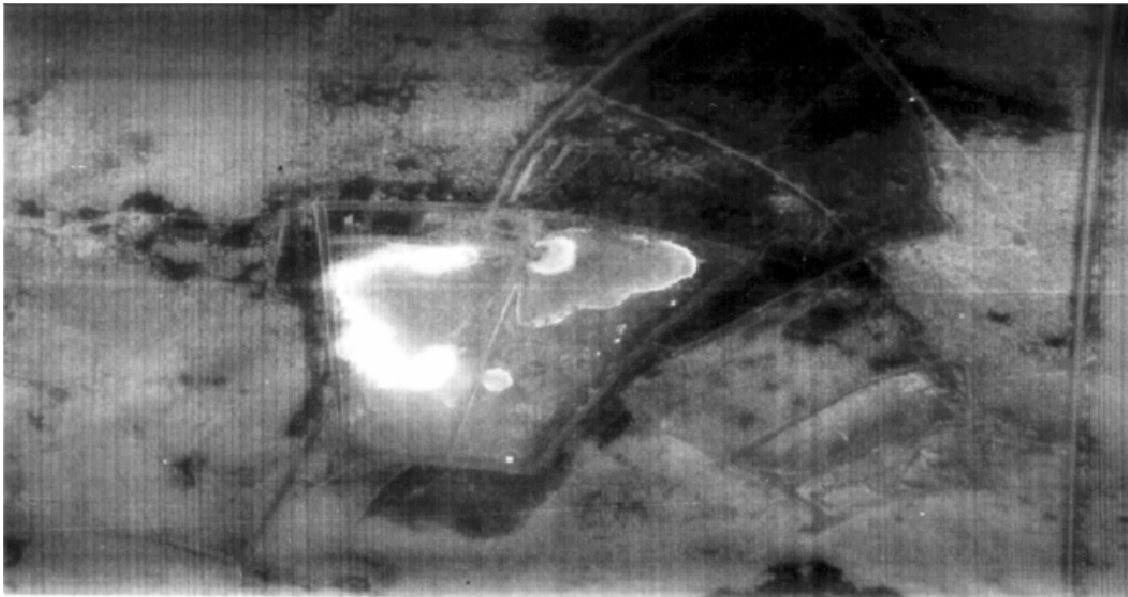
- Вторая группа включает органические части, не подвергающиеся изменению в процессе ускоренного обезвреживания, которые в процессе дозревания компоста или при внесении его в почву будут разлагаться;

- Третья группа – балластные составляющие, не подвергающиеся разложению под воздействием микробов.

В табл.23 и на рис.11 приведены соотношения между различными группами фракций в зависимости от степени выделения сортируемых фракций из ТБО.



**А**



**В**

Рис.10. Примеры возгорания полигонов, свалок ТБО:  
А- открытое возгорание свалки ТБО вблизи дачного поселка (Московская обл.); В- места скрытого горения мусора на свалке ТБО, определенные методом тепловой аэросъемки (Ленинградская обл.).

Таблица 22

Разделение фракций ТБО на группы для оценки агрохимических показателей компоста

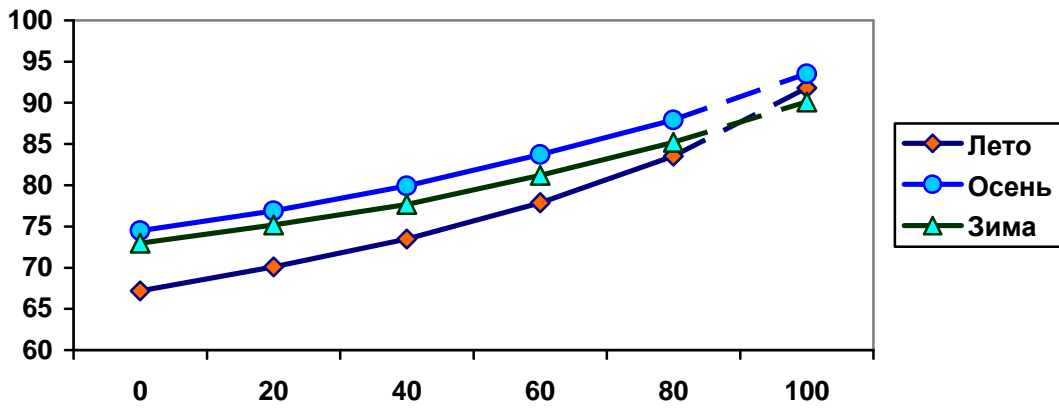
Группа фракций	Наименование фракций, входящих в группу	Характеристика группы фракций для получения компоста
I группа	Бумага, пищевые отходы, садовые отходы, отсев фракций размером менее 16 мм	Биологически легко разлагаемые и механически легко перерабатываемые фракции
II группа	Дерево, кости животных, текстиль	Фракции, медленно разлагающиеся при компостировании
III группа	Черный металлолом, цветной металлолом, стекло, строительные отходы, камни, пластмасса	Фракции, не подвергающиеся разложению под воздействием микробов

Таблица 23

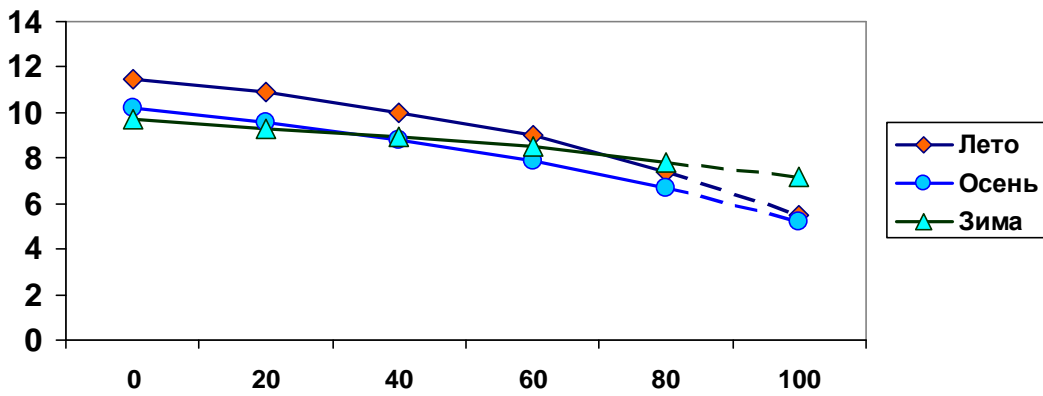
Соотношение между различными группами фракций ТБО г.Ижевска (% масс.) в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций в разное время года

Группа фракций ТБО	Степень извлечение сортируемых фракций, % от исходного содержания					
	0	20	40	60	80	100
<u>Летний период:</u>						
I группа	67,2	70,1	73,5	77,9	83,5	91,8
II группа	11,5	10,9	10,0	9,0	7,4	5,5
III группа	21,3	19,0	16,5	13,1	9,1	2,7
<u>Осенний период:</u>						
I группа	74,5	76,9	79,9	83,7	87,9	93,5
II группа	10,2	9,6	8,8	7,9	6,7	5,2
III группа	15,3	13,5	11,3	8,4	5,4	1,3
<u>Зимний период:</u>						
I группа	73,0	75,2	77,7	81,2	85,2	90,1
II группа	9,7	9,3	8,9	8,5	7,8	7,2
III группа	17,3	15,5	13,4	10,3	7,0	2,7

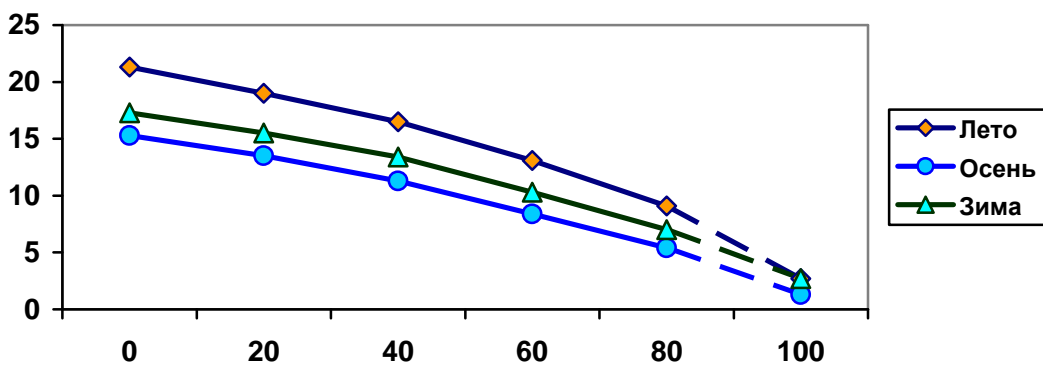
### I группа



### II группа



### III группа



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

Рис.11 Содержание разных групп фракций ТБО в зависимости от степени выделения сортируемых фракций

Из табл.23 и рис.11 видно, что при увеличении степени извлечения отдельных фракций, которые могут рассматриваться в качестве вторичного сырья, доля фракций 1 группы возрастает по отношению к доле фракций 2 и 3-й группы. Химические показатели ценных питательных элементов для растений в компосте определяются во фракциях первых двух групп, а влажность – во всех фракциях ТБО.

Агрохимические показатели (на абсолютно сухое вещество) определяются из выражения:

$$\xi_{\text{общ}}^c = 0,01 \sum_i \xi_i^c x_i \quad (19),$$

где  $\xi_{\text{общ}}^c$  - общий агрохимический показатель для ТБО (% масс.) на абсолютно сухое вещество;  $\xi_i^c$  - агрохимические показатели отдельных фракций ТБО (% масс.) на абсолютно сухое вещество.

Значения агрохимических показателей для рабочей массы ТБО могут быть получены из выражения:

$$\xi_{\text{общ}}^p = \xi_{\text{общ}}^c \left( \frac{100 - W_{\text{общ}}}{100} \right) \quad (20)$$

Содержание органического вещества на сухую массу ТБО определяется по формуле (21):

$$C_{\text{орг}} = 100 - A_{\text{общ}}^c \quad (22)$$

В табл.24 приведены значения агрохимических показателей для фракций, относящихся к I и II группе. В табл. 25-27 и рис.12 приведены зависимости агрохимических показателей компоста из ТБО и содержания органического вещества от степени извлечения

отдельных фракций, рассматриваемых в качестве вторичного сырья, при сортировке на ЛСМ в разное время года.

Из табл.25-27 и рис.12 видно, что при увеличении степени извлечения отдельных фракций, рассматриваемых в качестве вторичного сырья, происходит улучшение агрохимических показателей в компосте из субстрата ТБО, при этом также увеличивается доля фракций, относящихся к первой группе, что ускоряет процессы биологического разложения мусора, а также увеличивается доля органического вещества. Таким образом, при использовании ЛСМ для обработки ТБО способ утилизации остатков мусора после сортировки методом компостирования представляется наиболее целесообразным. На рис.13 изображена схема возможной организации компостной площадки для мусора после выделения вторичного сырья на ЛСМ.

Таблица 24

Агрохимические показатели фракций -  $\xi_i^c$  (% масс.) для абсолютно сухого вещества

Наименование фракций ТБО	Агрохимические показатели			
	Азот общий	Фосфор $P_2O_5$	Калий $K_2O$	Кальций $CaO$
Бумага	$2,98 \cdot 10^{-3}$	$2,41 \cdot 10^{-3}$	$1,49 \cdot 10^{-3}$	$8,01 \cdot 10^{-3}$
Пищевые отходы	$2,60 \cdot 10^{-2}$	$6,03 \cdot 10^{-3}$	$2,02 \cdot 10^{-2}$	$3,02 \cdot 10^{-2}$
Садовые отходы	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$9,43 \cdot 10^{-4}$	$2,83 \cdot 10^{-3}$	$8,49 \cdot 10^{-3}$
Дерево	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$2,33 \cdot 10^{-3}$	$8,14 \cdot 10^{-3}$
Кости животных	$2,67 \cdot 10^{-2}$	$1,51 \cdot 10^{-1}$	$5,06 \cdot 10^{-3}$	$4,00 \cdot 10^{-1}$
Текстиль	$1,01 \cdot 10^{-2}$	$2,01 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,97 \cdot 10^{-3}$
Отсев фракций, менее 16 мм	$9,93 \cdot 10^{-3}$	$6,48 \cdot 10^{-3}$	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$7,51 \cdot 10^{-2}$

Таблица 25

Агрохимические показатели ТБО г.Ижевска (% масс.) в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций в летний период.

Агрохимические показатели ТБО		Степень извлечение сортируемых фракций, % от исходного содержания					
		0	20	40	60	80	100
Азот общий	на р. массу	0,52	0,52	0,58	0,63	0,69	0,78
	на с. массу	0,87	0,90	1,09	1,22	1,45	1,96
Фосфор Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	на р. массу	0,38	0,40	0,45	0,50	0,56	0,65
	на с. массу	0,63	0,70	0,85	0,96	1,17	1,63
Калий К <sub>2</sub> О	на р. массу	0,30	0,32	0,35	0,40	0,45	0,52
	на с. массу	0,50	0,56	0,67	0,77	0,95	1,32
Кальций СаО	на р. массу	1,44	1,55	1,74	1,94	2,20	2,58
	на с. массу	2,41	2,71	3,28	3,77	4,64	6,50
Содержание органического вещества, С <sub>орг</sub> , % сух. массы		62,7	66,1	66,0	68,7	70,3	73,1



Таблица 26

Агрохимические показатели ТБО г.Ижевска (% масс.) в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций в осенний период.

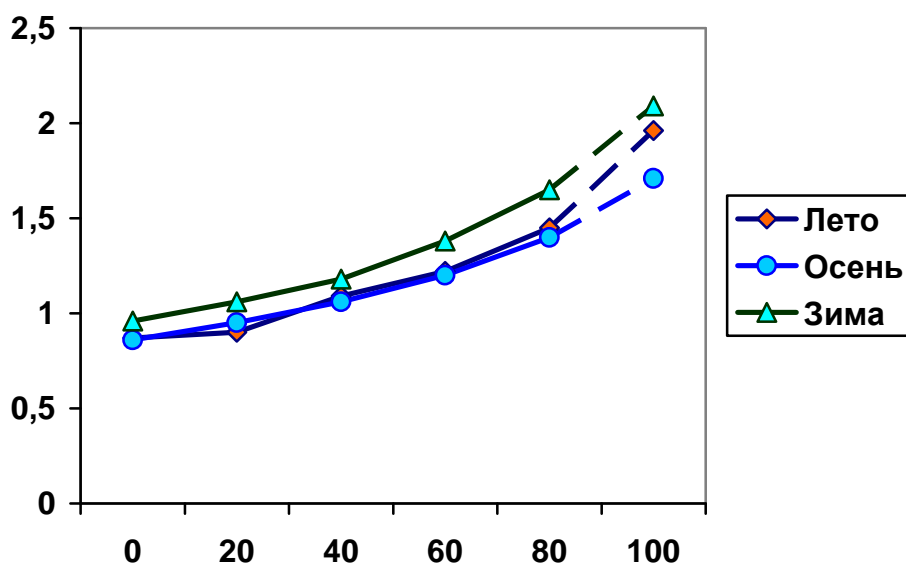
Агрохимические показатели ТБО		Степень извлечение сортируемых фракций, % от исходного содержания					
		0	20	40	60	80	100
Азот общий	на р. массу	0,39	0,41	0,43	0,46	0,49	0,52
	на с. массу	0,86	0,95	1,06	1,20	1,40	1,71
Фосфор P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	на р. массу	0,23	0,30	0,30	0,32	0,35	0,38
	на с. массу	0,51	0,69	0,73	0,84	1,02	1,23
Калий K <sub>2</sub> O	на р. массу	0,23	0,24	0,26	0,28	0,31	0,34
	на с. массу	0,50	0,56	0,63	0,74	0,89	1,13
Кальций CaO	на р. массу	0,96	1,11	1,20	1,29	1,44	1,56
	на с. массу	2,12	2,55	2,91	3,39	4,13	5,12
Содержание органического вещества, C <sub>орг</sub> , % сух. массы		64,5	69,8	70,2	71,2	71,9	73,5

Таблица 27

Агрохимические показатели ТБО г.Ижевска (% масс.) в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций в зимний период.

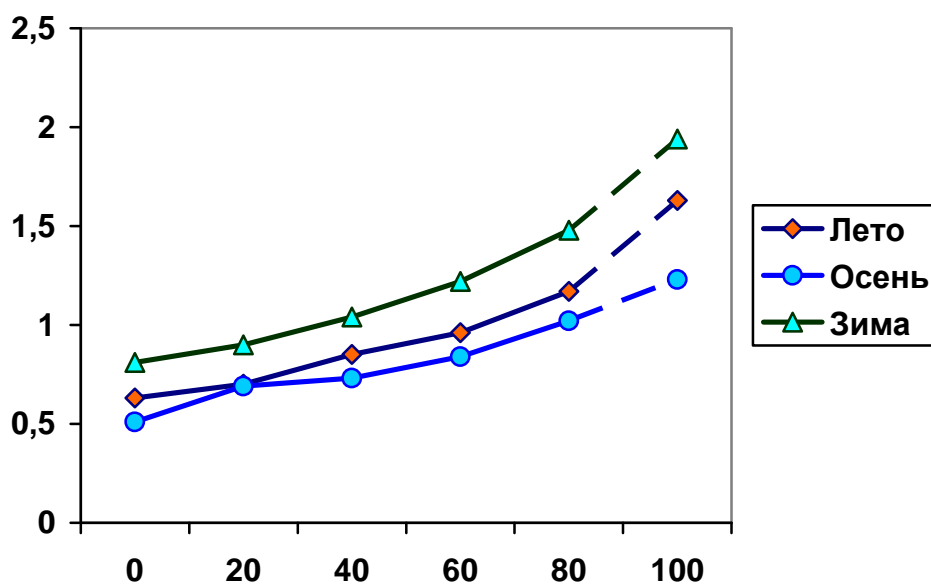
Агрохимические показатели ТБО		Степень извлечение сортируемых фракций, % от исходного содержания					
		0	20	40	60	80	100
Азот общий	на р. массу	0,47	0,50	0,53	0,56	0,61	0,67
	на с. массу	0,96	1,06	1,18	1,38	1,65	2,09
Фосфор Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>	на р. массу	0,40	0,43	0,46	0,50	0,55	0,62
	на с. массу	0,81	0,90	1,04	1,22	1,48	1,94
Калий К <sub>2</sub> О	на р. массу	0,26	0,28	0,30	0,33	0,36	0,41
	на с. массу	0,53	0,59	0,68	0,80	0,98	1,27
Кальций СаО	на р. массу	1,47	1,58	1,72	1,87	2,07	2,35
	на с. массу	2,98	3,35	3,87	4,57	5,59	7,36
Содержание органического вещества, С <sub>орг</sub> , % сух. массы		67,2	67,9	68,4	69,8	71,3	74,0

Азот, общий,  
% на сух. массу



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

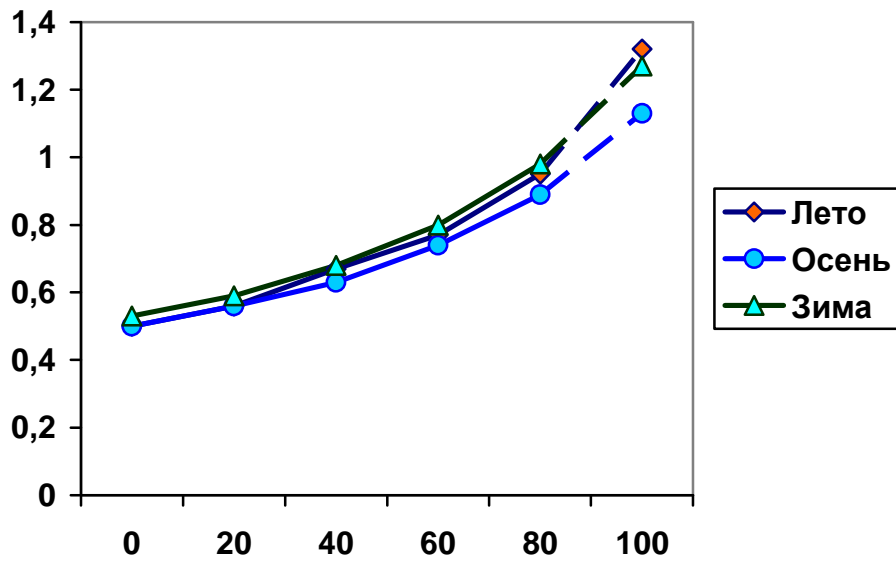
Фосфор,  $P_2O_5$ ,  
% на сух. массу



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

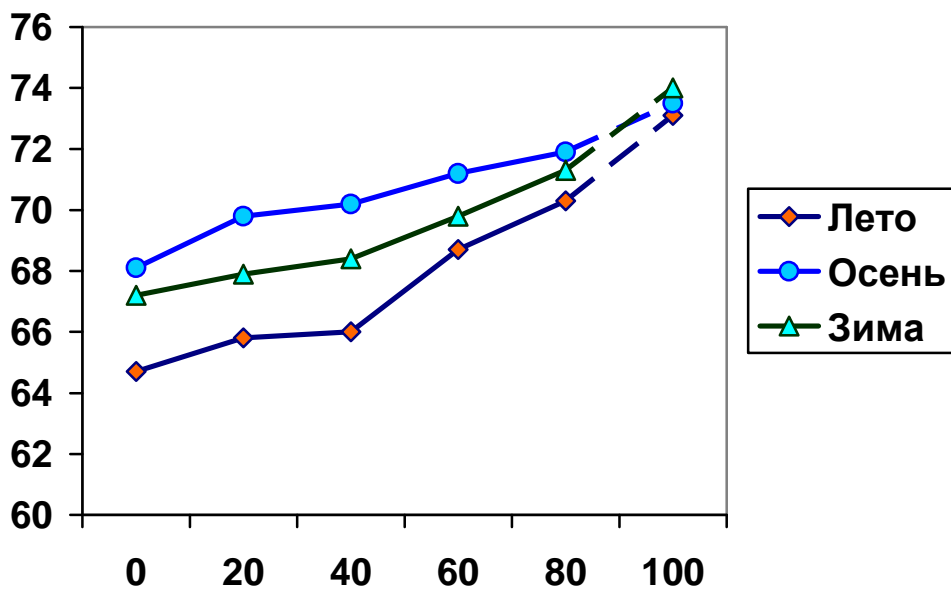
Рис.12. Агрехимические показатели компоста из ТБО в зависимости от степени извлечения сортируемых фракций

Калий,  $K_2O$   
% на сух. массу



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

$C_{орг}$ , % сух. массы



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

Рис.12. (продолжение)

## **5.Получение смешанных компостов с субстратом ТБО**

Как отмечалось в п.4.2, после извлечения отдельных фракций из ТБО при сортировке, которые могут использоваться в качестве вторичного сырья: бумаги (картона), черный металлолома, цветной металлолома, резины, текстиля, стекла, пластмассы; наиболее приемлемым способом утилизации ТБО является его компостирование. Это связано с улучшением агрохимических показателей получаемого субстрата ТБО по сравнению с исходным мусором, увеличивается содержание органического вещества, увеличивается доля фракций ТБО, относящихся к I группе (см. п.4.2), увеличение общей влажности ТБО. Однако следует отметить, что при утилизации ТБО с помощью метода компостирования особое внимание следует уделить содержанию в них тяжелых металлов (ТМ). Их наличие может затруднить использование таких компостов в качестве органического удобрения для сельскохозяйственных культур пищевого назначения. В то же время, для использования под декоративно-цветочные, лесные и парковые насаждения, для технических культур, благоустройства внутренней территории городов, для отсыпки верхнего слоя свалок и полигонов ТБО, применение такого компоста вполне обосновано.

Одновременно с этим можно рассмотреть получение смешанных компостов с различными видами городских и сельскохозяйственных отходов при контроле содержания токсичных примесей в них, таких, например, как ТМ. Компосты, в основном, состоят из нескольких компонентов, неодинаково устойчивых к разложению микроорганизмами. Одни из них (ТБО, торф и т.п.) играют роль поглотителя влаги, без компостирования слабо разлагается, другие (ОСВ, навоз-

ная жижа и т.п.) содержит достаточное количество легкораспадающихся органических соединений [28]. Смешение этих компонентов приводит к увеличению скорости разложения органических веществ при компостировании.

Для приготовления смешанных компостов с ТБО могут использоваться способы компостирования в штабелях: послойное и очаговое. Схема таких способов получения компоста изображена на рис.14. Очаговое компостирование целесообразно для районов с низкими зимними температурами, когда возможно промерзание штабеля [28].

### **5.1. Получение компостов с осадками сточных вод (ОСВ)**

Основной проблемой утилизации ОСВ городских очистных сооружений крупных промышленных центров является наличие в них ТМ. ОСВ содержат, как правило, значительно большее количество ТМ, чем ТБО. В табл.28 приведено содержание ТМ в ОСВ г.Ижевска [29,30] и в компосте из ТБО для крупных промышленных городов РФ [6,22]. В связи с высоким содержанием ТМ в ОСВ в разных странах, в т.ч. и в РФ, разрабатывались нормативные документы по содержанию ТМ в компостах из ОСВ. Нормы на содержание ТМ в компостах из ОСВ для разных стран и РФ приведены в табл.29.

Из табл.28,29 следует, что ТБО, из-за меньших уровней загрязнения ТМ, чем в ОСВ и принятых норм для компостов из ОСВ, может рассматриваться в качестве разбавителя ОСВ в получаемых компостах для доведения содержания ТМ до требуемых норматив-

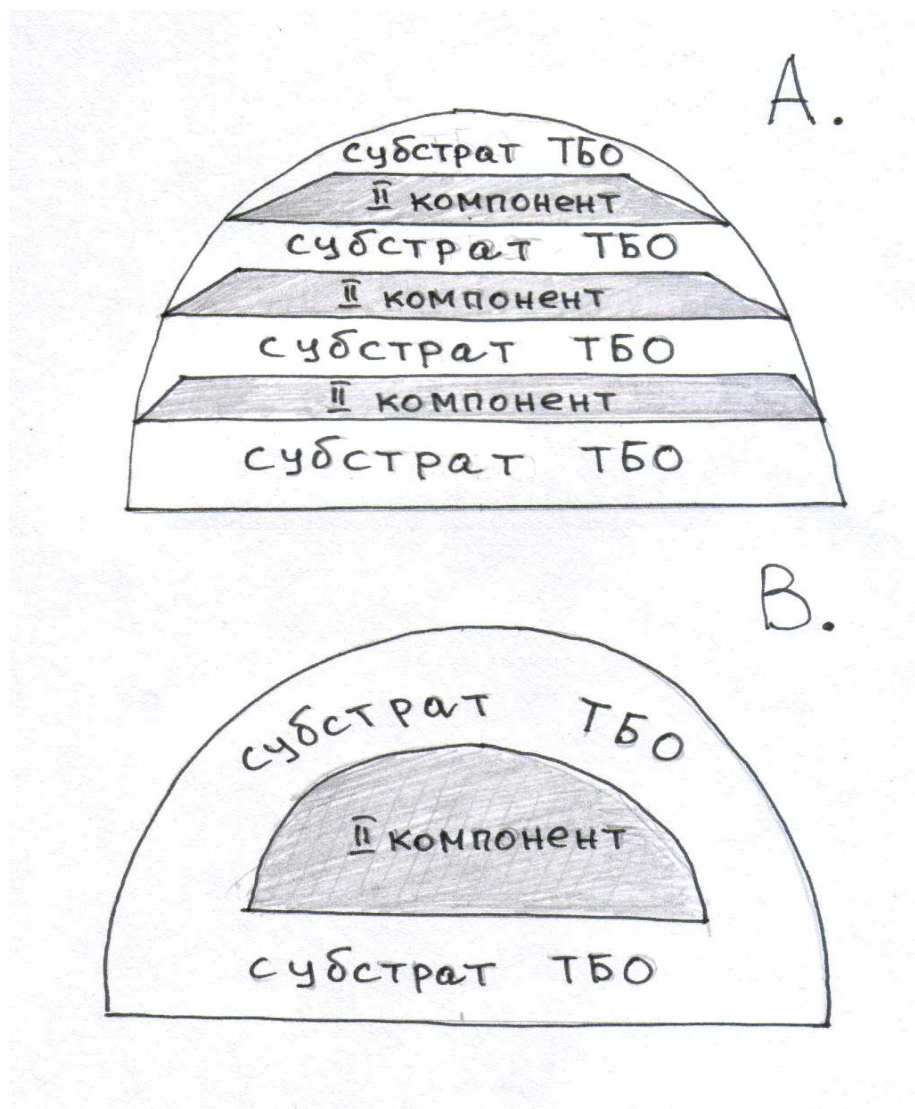


Рис.14. Схема способов компостирования субстрата ТБО с другими компонентами:  
А- послойное компостирование;  
В- очаговое компостирование

Таблица 28

Содержание некоторых ТМ в ОСВ г.Ижевска [29,30] и в компосте из ТБО крупных промышленных городов РФ [6,22]

Металл	Содержание, мг/кг. сух. в-ва		
	ОСВ		ТБО
	Результаты исследований 1990-1991 гг.	Результаты исследований 2001 г.	
Хром	6000-13000	1000-3000	150-200
Цинк	2000-6000	1000-4000	1100-2000
Никель	2000-5000	1000-3000	5-40
Медь	2000-4000	1000-2000	100-800
Кадмий	90-250	40-100	2-10

Таблица 29.

Нормы на содержание ТМ в компостах на основе ОСВ ( мг/кг сух. в-ва) для использования в сельском хозяйстве, принятые в различных странах и РФ [31-33]

Металл	Страна						
	США	Франция	ФРГ	Нидерланды	Швейцария	Швеция	Россия (ГУ-9849-018-00483470-93)
Цинк	1500	3000	3000	2000	3000	3000	4000
Медь	750	1500	1200	500	100	1500	1500
Никель	150	100	200	50	200	100	300
Хром	500	200	1200	500	1000	200	1200
Кадмий	50	15	20	10	30	15	30
Свинец	500	300	1200	500	1000	300	800



ных значений. Поэтому следует в каждом конкретном случае при приготовлении компостов оценить соотношении между ТБО и ОСВ в исходном субстрате для необходимого разбавления.

Содержание отдельных элементов, в том числе и относящихся к ТМ, в компосте из ОСВ и ТБО может быть получено по формуле:

$$c_{K,i} = 0,01x_M^c c_{M,i} + 0,01x_O^c c_{O,i} \quad (23),$$

где  $c_K, c_M, c_O$  – содержание элемента в соответственно в компосте, ТБО и ОСВ;  $x_M^c, x_O^c$  – доли содержания в компосте ТБО и ОСВ в % масс. на сухое вещество. Сумма  $x_M^c$  и  $x_O^c$  соответственно равна 100%, если компост состоит только из этих компонентов. Зная содержание элементов в ТБО и ОСВ можно определить долю мусора в компосте :

$$x_M^c = \frac{C_{K,i} - C_{O,i}}{C_{M,i} - C_{O,i}} 100\% \quad (24)$$

Коэффициент разбавления мусором ОСВ для сухого вещества компоста -  $D^c$  может быть определен из формулы:

$$D^c = \frac{x_M^c}{x_O^c} = \frac{C_{K,i} - C_{O,i}}{C_{M,i} - C_{K,i}} \quad (25)$$

Если в получаемом компосте ТБО является разбавителем для ОСВ по содержанию ТМ (например для г.Ижевска), то минимально значение коэффициента разбавления ОСВ мусором до необходимых норм для

отдельного металла -  $D_{\min,i}^c$ , может быть получено при значении содержания металла в компосте -  $C_{K,i}$ , равном принятому в нормативном документе ( $\bar{N}_{K,i}$ ). В этом случае формулы (24,25) для отдельного элемента запишутся следующим образом:

$$\bar{x}_M^c = \frac{\bar{N}_{K,i} - C_{O,i}}{C_{M,i} - C_{O,i}} 100\% \quad (26)$$

$$D_{\min,i}^c = \frac{\bar{N}_{K,i} - C_{O,i}}{C_{M,i} - \bar{N}_{K,i}} \quad (27)$$

С учетом влажности ТБО и ОСВ коэффициент разбавления на рабочую массу компоста может быть получен из выражения:

$$D^p = D^c \left( \frac{1 - 0,01W_o}{1 - 0,01W_M} \right) \quad (28),$$

где  $W_M, W_o$  - влажность соответственно ТБО и ОСВ в % масс.

Общая влажность получаемого компоста -  $W_K$  может быть определена по следующей формуле:

$$W_K = \left( 1 - \frac{(1 - 0,01W_o)(1 - 0,01W_M)(1 + D^c)}{1 + D^c - 0,01W_M - 0,01D^cW_o} \right) 100\% \quad (29)$$

**Пример приготовления компоста:** В качестве примера приготовления такого компоста рассмотрим случай, когда в качестве разбавителя будет использован субстрат ТБО г.Ижевска, полученный после извлечения отдельных компонентов (вторсырья) на

ЛСМ, с высокой степенью извлечения сортируемых фракций – 60, 80% от исходного их количества. Для приготовления компоста использовались ОСВ из отстойников очистных сооружений с влажностью 95%. В табл.30 приведены исходные агрохимические характеристики этих компонентов компоста, полученные на основании расчетов (см.п.4.2) и по данным [28]. В табл.31 приведено содержание ТМ в ТБО и ОСВ, значения  $D_{\min,i}^c, D_{\min,i}^p$  и другие показатели при приготовлении компоста из субстрата, полученного после сортировки ТБО на ЛСМ в летний период для г.Ижевска (степень извлечения отдельных компонентов – 60 и 80 %, см. табл.25), и ОСВ муниципальных очистных сооружений с влажностью 95%. Как известно, ОСВ муниципальных очистных сооружений представляют из себя труднофильтруемые суспензии с влажностью 95-97% [34]. Снижение влажности в ОСВ возможно за счет использования фильтров и центрифуг [35]. В данном случае предполагали, что для приготовления компоста используются ОСВ, полученные в отстойниках очистных сооружений. Содержание отдельных ТМ в ТБО было принято максимальным из табл.92. Содержание ТМ в ОСВ было принято максимальным из табл.22 для наиболее поздних исследований осадков. Нормативные значения на ТМ для компостов из ОСВ приняты из ТУ-9849-018-00483470-93 [29]. При расчете коэффициента разбавления мусором ОСВ предполагали, что ТМ вносятся в ТБО различными промышленными и бытовыми отходами, которые не поддаются сортировке на ЛСМ, поэтому ТМ полностью переходят в получаемый субстрат ТБО. В случае, если часть загрязнений ТМ может быть извлечена из ТБО в результате сортировки, то коэффициент разбавления может быть снижен.

Таблица 30

Принятые в примере приготовления компоста из ОСВ и ТБО агрохимические характеристики исходных компонентов по данным табл.25 и [28].

Компонент компоста	Элементы в компосте	Содержание элементов, % масс на сух. в-во	Влажность, % масс
ТБО	<u>Извлеч. сорт. фракций – 60%:</u>		48,5
	Азот общий	1,22	
	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,96	
	Калий (K <sub>2</sub> O)	0,77	
	Кальций (CaO)	3,77	
	<u>Извлеч. сорт. фракций – 80%:</u>		52,7
	Азот общий	1,45	
	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,17	
Калий (K <sub>2</sub> O)	0,95		
Кальций (CaO)	4,64		
ОСВ	Азот общий Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) Калий (K <sub>2</sub> O) Кальций (CaO)	1,50 2,50 0,25 5,00	95,0

Таблица 31

Пример определения необходимых показателей для приготовления компоста из ТБО и ОСВ г.Ижевска при условии, что содержание в нем ТМ будет удовлетворять требованиям норматива ТУ-9849-018-00483470-93.

Металл	ТБО, ( $C_{M,i}$ ) мг/кг. сух. в-ва	ОСВ, ( $C_{O,i}$ ) мг/кг. сух. в-ва	ТУ-9849- 018- 00483470- 93 ( $\bar{N}_{K,i}$ ) мг/кг. сух. в-ва	$D_{\min,i}^c$ т.ТБО/т.ОСВ	$D_{\min,i}^p$ т.ТБО/т.ОСВ	$D_{\min,i}^c$ м <sup>3</sup> ТБО/т.ОСВ	$\max[D_{\min,i}^c]$ т.ТБО/т.ОСВ	$\bar{x}_M^c, \%$
Хром	200	3000	1200	1,81	0,19	0,86	10,40	91,2
Цинк	2000	4000	4000	-	-	-		
Никель	40	3000	300	10,40	1,10	5,00		
Медь	800	2000	1500	0,71	0,08	0,36		
Кадмий	10	100	30	3,51	0,37	1,68		

Перед приготовлением компоста проводится определение ТМ в ОСВ и ТБО ( из-за некоторых особенностей определения ТМ в ТБО, связанных со сложным и неоднородным составом мусора, содержание ТМ может оцениваться не в каждом конкретном случае, а выборочно, или могут использоваться усредненные данные). Далее рассчитываются значения  $D_{\min,i}^c, D_{\min,i}^p$  для всех ТМ, являющихся загрязнителями компоста. Из них выбирается максимальное значение коэффициента разбавления ( $\max[D_{\min,i}^c, D_{\min,i}^p]$ ), которое является необходимым соотношением между ТБО и ОСВ в компосте, для достижения необходимого норматива на содержание ТМ. Из табл.28 видно, что максимальное загрязнение относительно норматива ТУ-9849-018-00483470-93 в ОСВ имеет никель. Поэтому выбирается для данного примера коэффициент разбавления мусором ОСВ таким, чтобы содержание никеля в компосте соответствовало требованиям норматива. Очевидно, что содержание других металлов при этом будут удовлетворять этим требованиям. В табл.32 приведены показатели готового компоста, полученного в результате такого смешивания ТБО и ОСВ.

Из приведенного примера видно, что важным условием такого подхода к приготовлению компостов из ТБО и ОСВ, с контролем содержания ТМ, является необходимость экспресс-анализа ТМ в ОСВ, субстрате ТБО и компосте. Для этого может быть использован рентгено-флуоресцентный анализ ТМ (РФЛА) в исходных компонентах компоста и в самом компосте. РФЛА позволяет быстро осуществить многокомпонентный анализ ТМ [36]. В табл.33 приведены некоторые преимущества и недостатки этого метода по сравнению с другими методами. Несмотря на относительно

Таблица 32

Характеристики компоста, полученного из ТБО и ОСВ для рассматриваемого примера

Компост	Содержание некоторых ТМ в компосте, мг/кг сух. в-ва	Влажность $W_K$ , %	$Q_n^p$ кДж/кг	Агрохимические показатели компоста, % масс
Получен из субстрата ТБО с извлечением сортируемых фракций – 60% и ОСВ	Хром – 446 Цинк- 2176 Никель – 300	71,63	2359,7	Азот общий – 1,24 Фосфор ( $P_2O_5$ )- 1,10 Калий ( $K_2O$ )- 0,72 Кальций ( $CaO$ )-3,88
Получен из субстрата ТБО с извлечением сортируемых фракций – 80% и ОСВ	Медь – 906 Кадмий – 18	72,80	2256,8	Азот общий – 1,45 Фосфор ( $P_2O_5$ )- 1,29 Калий ( $K_2O$ )- 0,89 Кальций ( $CaO$ )- 4,67

высокую погрешность определения элементов (до 10% относительных процентов) РФЛА обладает высокой чувствительностью, достаточно прост и сравнительно недорог. Схема использования РФЛА для приготовления компостов из ОСВ и ТБО приведена на рис.15.

Таблица 33

Преимущества и недостатки РФЛА при контроле содержания ТМ в ОСВ и компостах с ними

Преимущества РФЛА	Недостатки РФЛА
<ul style="list-style-type: none"> <li>- возможность одновременного анализа многокомпонентных систем;</li> <li>- высокая чувствительность;</li> <li>- компактность;</li> <li>- простота и сравнительно низкая стоимость;</li> <li>- возможность организации контроля ТМ в режимах близких к реальному времени;</li> <li>- возможность использования в мобильном варианте;</li> <li>- возможность компьютерной обработки результатов и использования электронных средств связи для принятия решений по утилизации и обезвреживанию ОСВ.</li> </ul>	<p>Относительно высокая погрешность анализа элементов в ряде случаев, по сравнению с другими методами.</p>



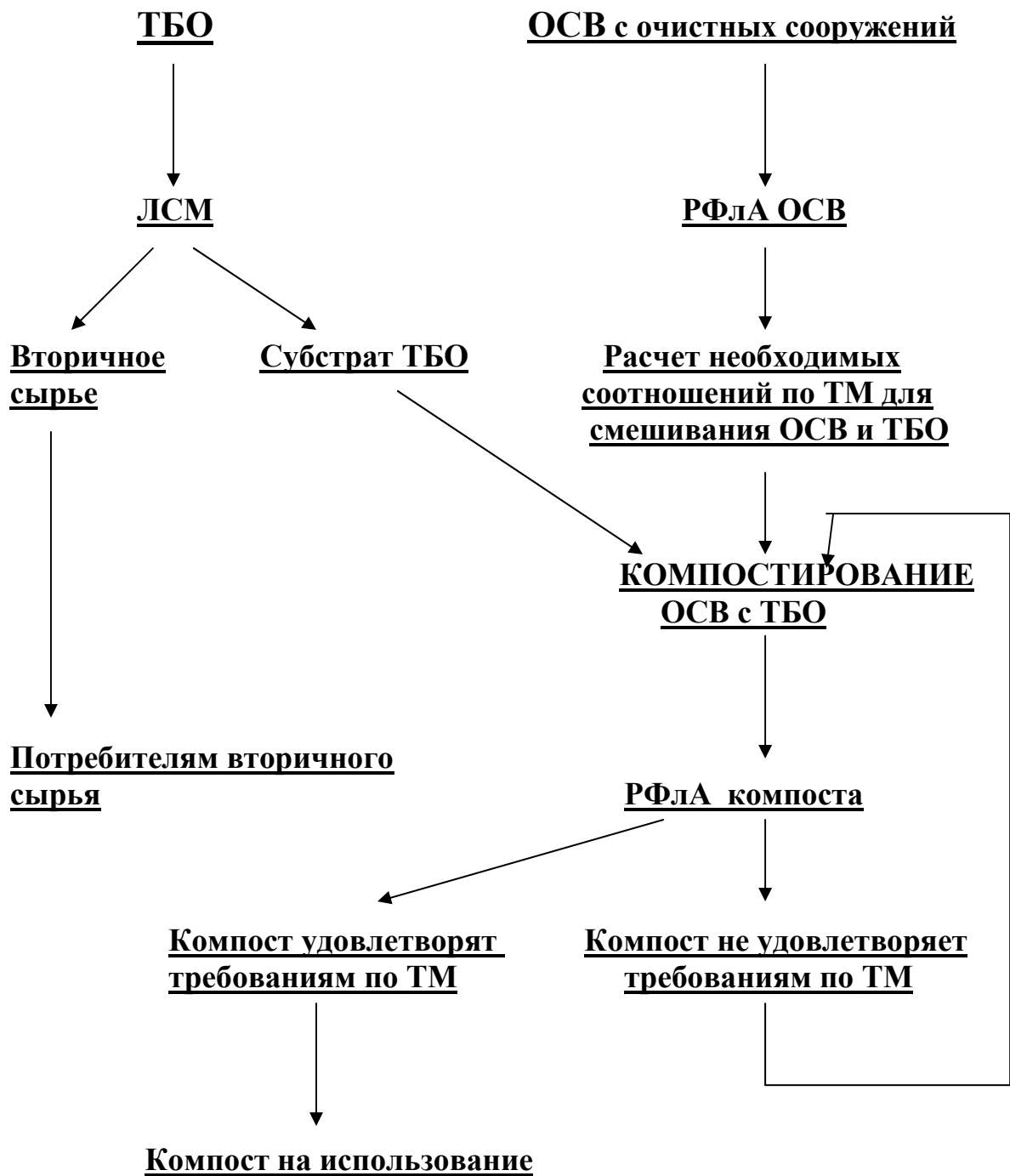


Рис.15. Схема использования РФЛА при получении компостов ТБО с ОСВ

## **5.2. Получение компостов с донными отложениями водоемов**

В городах Уральского региона большой проблемой является заиливание старых водоемов-прудов донными отложениями. Поэтому регулярно производится их очистка и удаление определенной части ила. Илы водоемов (сапропель) могут использоваться в качестве удобрения, однако их утилизация в крупных промышленных городах, также как утилизация ОСВ, осложнена тем, что в донных отложениях содержатся ТМ, и илы имеют достаточно высокую влажность.

Поэтому для утилизации таких донных отложений может быть предложен метод компостирования с субстратом ТБО, полученном после ЛСМ. ТБО в этом случае может использоваться как разбавитель ТМ (в случае если донные отложения сильно загрязнены), а также в качестве поглотителя влаги. В табл.34 приведены результаты изучения содержания ТМ в донных отложениях Ижевского пруда [37]. Если ориентироваться на то, что содержание ТМ в получаемом компосте также должно удовлетворять нормативу ГУ-9849-018-00483470-93, то из табл.34 видно, что содержание ТМ в иловых отложениях ниже необходимых требований, как и в ТБО. Из этого следует, что нет ограничений по смешиваемости ТБО и донных отложений при получении компоста, с точки зрения загрязнения ТМ. В то же время по технологическим причинам влажность получаемого компоста может быть ограничена некоторым пределом (например- 80%), что упрощает его транспортировку, внесение и пр. Поэтому субстрат из ТБО после ЛСМ может рассматриваться в качестве поглотителя влаги в получаемом компосте.

Таблица 34.

Загрязнение донных отложений Ижевского пруда некоторыми ТМ [37]

Металлы	Содержание, мг/кг сух. в-ва		
	Минимальное	Максимальное	Среднее (анализ 49 проб в различных местах водоема)
Медь	68,2	414,9	125,0
Цинк	139,5	423,5	205,7
Хром	82,2	621,6	143,9

В этом случае необходимое содержание ТБО в компосте (% масс.) и соотношение между мусором и донными отложениями (для рабочих масс исходных компонентов) можно будет получить по формулам:

$$\bar{x}_M^p = \frac{W_D - \bar{W}_K}{W_D - W_M} 100\% \quad (30)$$

$$D_{\min}^p = \frac{W_D - \bar{W}_K}{\bar{W}_K - W_M} \quad (31),$$

где  $W_D, \bar{W}_K$  - влажность донных отложений и необходимая предельная влажность получаемого компоста соответственно.

**Пример получения компоста:** В качестве исходных компонентов использовались субстраты ТБО, полученные на ЛСМ при степени извлечения отдельных компонентов 60 и 80 % от их исходного содержания (см. табл.30). Возможные агрохимические показатели иловых отложений, на основании данных [28], приведены в табл.35. В табл.36 приведены значения  $\bar{x}_M^p$ ,  $D_{\min}^p$  и агрохимические показатели получаемого компоста.

Ижевский пруд находится в черте города, поэтому организация компостных площадок вблизи выемки донных отложений невозможна. В этом случае следует осуществлять транспортировку донных отложений к месту размещения компостных площадок за чертой города. При утилизации такого компоста необходим контроль на содержание ТМ в нем.

### **5.3. Получение компостов с отходами животноводства**

Наиболее проблемной является утилизация жидких отходов животноводческих комплексов, т.н. навозной жижи или ОСВ локальных очистных сооружений. Навозная жижа представляет собой, в основном, перебродившую мочу животных. В данном случае, из-за отсутствия ТМ в навозной жиже, субстрат ТБО может рассматриваться в качестве поглотителя влаги при приготовлении компоста. Необходимое содержание ТБО в компосте и соотношение между ТБО и навозной жижей можно будет определить по формулам (30,31) для получения необходимой влажности в компосте, при этом влажность донных отложений в этих формулах заменяется на влажность навозной жижи.

**Пример получения компоста:** В качестве исходных компонентов использовались субстраты ТБО, полученные на ЛСМ при степени извлечения отдельных компонентов 60 и 80 % от их исходного содержания (см. табл.25) . Возможные агрохимические показатели навозной жижи, на основании данных [28], приведены в табл.35. В табл.36 приведены значения  $\bar{x}_M^P$ ,  $D_{\min}^P$  и агрохимические показатели получаемого компоста.

Из-за более низкого содержания ТМ в компостах с отходами животноводства, чем в компостах с ОСВ и донными отложениями, такие компосты могут использоваться в качестве органических удобрений под сельскохозяйственные культуры не только технического, но и пищевого назначения. Тем не менее, контроль ТМ в получаемых компостах также необходим. В этом случае, особое внимание при сортировке мусора следует уделить снижению доли фракций в получаемых субстратах ТБО, относящихся к II и III группам (см. п.4.2). В частности, может быть организовано извлечение из ТБО таких фракций, как дерево, кости, камни, дополнительно к фракциям, приведенным в табл.13. Эти фракции не являются вторичным сырьем. Однако их утилизация не вызывает проблем. В частности, дерево может использоваться в качестве топлива, кости животных при измельчении – для получения костной муки, используемой в качестве удобрений, камни – в качестве отсыпки или наполнителя строительных изделий и материалов. В табл.37 и на рис.16 приведены соотношения между различными группами фракций в субстрате ТБО в зависимости от степени извлечения фракций в этом случае, а также агрохимические показатели компоста из субстрата ТБО в летний период для г.Ижевска. Из-за низкой рентабельно-

сти транспортировки жидких отходов и с учетом того, что животноводческие комплексы находятся за пределами города, компостные площадки в данном случае следует размещать вблизи этих комплексов. При этом перевозится к компостным площадкам субстрат ТБО после ЛСМ.

Таблица 35

Принятые в примерах приготовления компостов агрохимические характеристики исходных компонентов по данным [28]

Компонент компоста	Элементы в компосте	Содержание элементов,	Влажность, %
Донные отложения (сапрпель)		<u>% масс. на сух. в-во:</u>	93,0
	Азот общий	2,90	
	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,18	
	Калий (K <sub>2</sub> O)	-	
	Кальций (CaO)	2,0	
Жидкие отходы животноводства (навозная жижа)		<u>% масс.</u>	99,5
	Азот общий	0,30	
	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,06	
	Калий (K <sub>2</sub> O)	0,50	
	Кальций (CaO)	-	

Таблица 36

Показатели компостов ТБО с донными отложениями водоемов и жидкими сельскохозяйственными отходами для рассматриваемых примеров,

Показатели	Компост: ТБО + сапрпель		Компост: ТБО + навозная жижа	
	% извлеч. сорт. фракций		% извлеч. сорт. фракций	
	60	80	60	80
Влажность $\bar{W}_K, \%$	80	80	80	80
$D_{\min}^p, \text{Т/Т}$ $D_{\min}^p, \text{М}^3/\text{Т}$	0,413 1,88	0,476 2,16	- -	- -
$D_{\min}^p, \text{Т/М}^3,$ $D_{\min}^p, \text{М}^3/\text{М}^3$	- -	- -	0,619 2,81	0,714 3,25
$\bar{x}_M^p, \%$ масс	29,2	32,3	38,2	41,7
Агрохимические показатели	% масс. на сух. в-во			
Азот общий	1,64	1,81	2,21	2,34
Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,77	0,92	1,10	1,31
Калий (K <sub>2</sub> O)	0,58	0,71	2,23	2,30
Кальций (CaO)	3,33	3,99	3,75	4,62

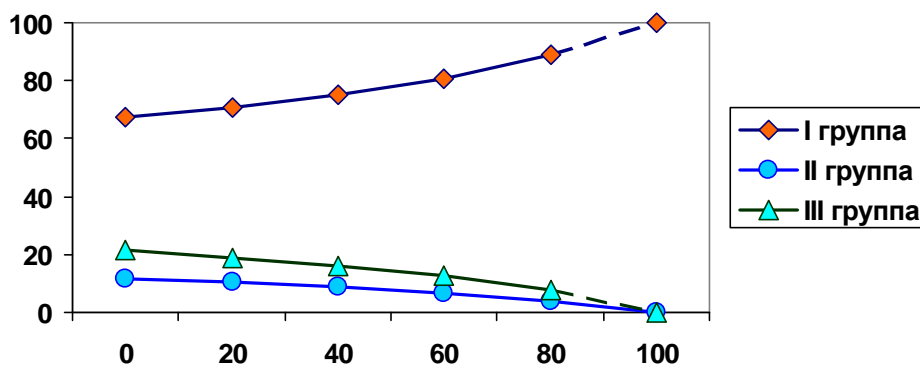
Таблица 37

Соотношение между различными группами фракций ТБО г.Ижевска (% масс.) и агрохимические показатели компоста из ТБО в зависимости от степени извлечения сортируемых и дополнительных фракций (дерева, костей, камней) для улучшения качества компоста в летний период

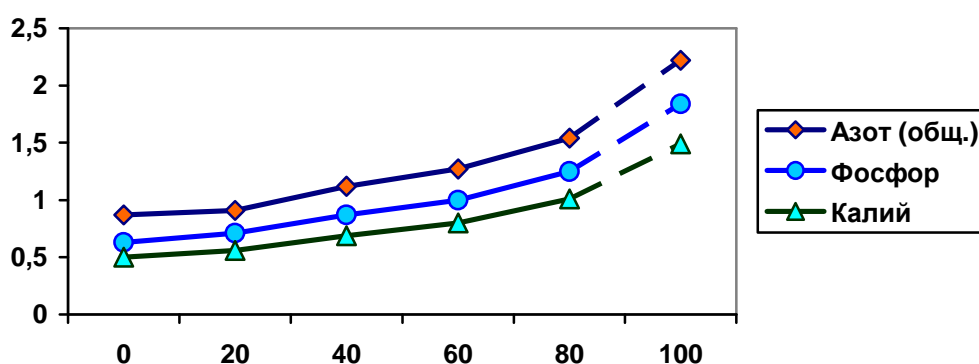
Наименование		Степень извлечение сорт. и доп. фракций, % от исходного содержания					
		0	20	40	60	80	100
Группа фракций ТБО		Соотношение между группами фракций (%):					
I группа		67,2	70,7	75,3	80,6	88,8	100
II группа		11,5	10,4	8,6	6,9	3,6	0
III группа		21,3	18,9	16,1	12,5	7,6	0
Агрохимические показатели		% масс					
Азот общий	на раб. массу	0,52	0,52	0,59	0,66	0,69	0,82
	на сух. массу	0,87	0,91	1,12	1,27	1,54	2,22
Фосфор P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	на раб. массу	0,38	0,40	0,47	0,53	0,56	0,68
	на сух. массу	0,63	0,71	0,87	1,00	1,25	1,84
Калий K <sub>2</sub> O	на раб. массу	0,30	0,32	0,37	0,42	0,45	0,56
	на сух. массу	0,50	0,56	0,69	0,80	1,01	1,49
Кальций CaO	на раб. массу	1,44	1,56	1,83	2,06	2,21	2,73
	на сух. массу	2,41	2,73	3,39	3,93	4,93	7,33
Содержание органического вещества, C <sub>орг</sub> , % сух. массы		62,7	66,6	68,1	71,7	74,8	82,5
Влажность, W <sub>общ</sub> , % .		40,1	42,9	46,0	47,7	55,1	62,8



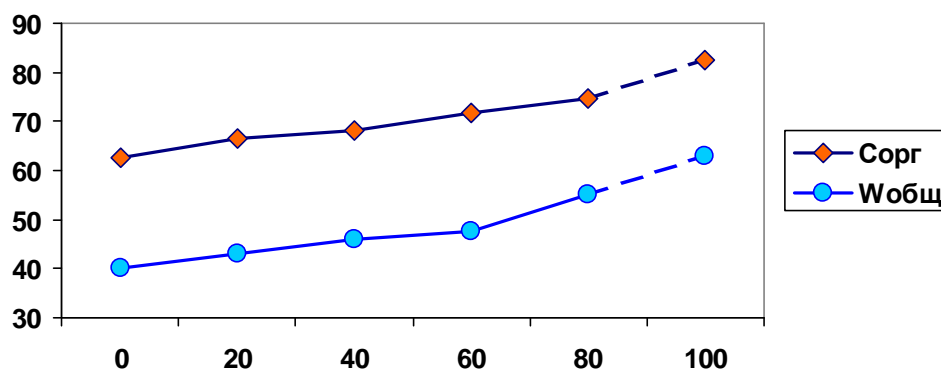
% масс.



% масс. на сух. в-во



$C_{орг}$ , % сух. массы,  
 $W_{общ}$ , % .



Степень извлечения сорт. фракций, % от исх. сод.

Рис.16. Соотношение между различными группами фракций ТБО г.Ижевска (% масс.) и агрохимические показатели компоста из ТБО (Азот (общ.),  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) в зависимости от степени извлечения сортируемых и дополнительных фракций (дерева, костей, камней) для улучшения качества компоста в летний период

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании настоящего исследования по возможностям использования ЛСМ для обработки ТБО можно сделать следующие выводы:

1. Технология сортировки мусора с помощью ЛСМ является достаточно простым и относительно технологичным методом, не требующим существенных затрат на строительство. Удельная стоимость переработки мусора на ЛСМ примерно в 15-70 раз ниже, чем для МСЗ. Из-за необходимости использования ручного труда при сортировке ТБО на ЛСМ следует особое внимание уделять мерам по технике безопасности процесса для рабочих.

Относительно невысокая стоимость строительства ЛСМ и простота технологии позволяет применять данный способ сортировки ТБО для небольших городов, а также для городов с численностью населения до 1 млн. человек. Для городов с численностью населения более 1 млн. человек использование такого метода требует дополнительного изучения из-за больших объемов ТБО.

2. Из-за невысокой общей стоимости произведенных вторичных ресурсов на ЛСМ, прибыль производства имеет высокую чувствительность к транспортным расходам. В частности для г.Ижевска, предприятие связанное с ЛСМ может быть полностью убыточным при необходимости транспортировки полученного на ЛСМ вторичного сырья на расстояние более 100 км. Максимальная прибыль предприятия может быть получена при размещении ЛСМ вблизи потребителей вторсырья. В то же время, из-за необходимости размещения ЛСМ вблизи городских мусоропотоков, количество таких мест для размещения ЛСМ является

ограниченным. Предпочтительным является размещение ЛСМ на мусороперегрузочных станциях. Размещение ЛСМ на полигоне ТБО может сделать предприятие убыточным. Предложена возможная схема по снижению транспортных расходов.

Наиболее прибыльным является извлечение из ТБО на ЛСМ таких фракций (по степени снижения прибыльности): лом цветных металлов, бумага, текстиль. Наименьшую рентабельность имеют выделение лома черных металлов, стеклобоя; потребители этого вида вторичного сырья должны находиться вблизи ЛСМ. Наиболее проблемной, по-видимому, является переработка выделяемой на ЛСМ пластмассы.

3. При извлечении на ЛСМ сортируемых фракций из ТБО происходит снижение удельной теплоты сгорания оставшейся части мусора на 20-30% за счет увеличения содержания влаги в несортируемых фракциях, поэтому ценность использования такого материала в качестве топлива снижается. При этом также снижается риск возгорания полигонов ТБО. Для остатка ТБО после сортировки на ЛСМ в летний период, когда риск возгорания полигонов ТБО является наибольшим, общее содержание влаги в мусоре соответствует содержанию влаги в несортированном мусоре в осенне-зимний период. Кроме этого, после сортировки на ЛСМ, остаток ТБО обогащается фракциями, которые подвержены процессам быстрого биологического разложения, что также снижает риск самовозгорания.

4. Обогащение остатка ТБО после сортировки на ЛСМ фракциями, которые подвержены процессам быстрого биологического разложения и обезвреживания, делает этот остаток (субстрат) ТБО привлекательным для получения компостов на его основе. Показано возрастание содержания органического вещества в таком субстрате и улучшение агрохимических показателей в

результате сортировки. Утилизация остатка ТБО методом компостирования может производиться только для субстрата ТБО, или с получением смешанных компостов с другими видами трудноутилизируемых органических отходов, таких как ОСВ, донные отложения водоемов, отходы животноводства. Основной проблемой использования таких компостов является наличие в них токсичных загрязнителей, таких например, как ТМ. Это может затруднить использование таких компостов в сельском хозяйстве. В то же время в городском хозяйстве для различных целей использование этих компостов вполне возможно. Наличие ТМ в компостах на основе субстрата ТБО требует контроля компостов. Контроль за ТМ на всех стадиях приготовления компостов может проводиться с использованием метода РФЛА, способного осуществлять многокомпонентный экспресс-анализ систем, содержащих ТМ. При получении смешанных компостов, субстрат ТБО может использоваться в качестве разбавителя по ТМ (например, для компостов с ОСВ), а также в качестве поглотителя влаги в других видах смешанных компостов.

Сделанный анализ использования ЛСМ при обработке ТБО, показывает, что такой способ сортировки мусора является перспективным, позволяющим решить проблему ТБО для сравнительно небольших городов. Главной проблемой, связанной с рентабельностью использования ЛСМ, является неразвитость сети предприятий по переработке вторичных ресурсов, в связи с чем основная часть прибыли производства может быть поглощена транспортными расходами по доставке вторичного сырья от ЛСМ потребителю.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварц Д. Отходы, упаковка и окружающая среда. – Рига, Латвия: Клуб защиты среды, 1995.- 68 с.
2. Черп О.М., Винниченко В.Н. Проблема твердых бытовых отходов: комплексный подход. – М.: Эколайн, 1996.- 48 с.
3. Tsvetkova G.// AVA Magazine, 2000.- V.2,- Iss.2,- P.18-19.
4. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 1998 г. Государственный доклад.- Ижевск: Комитет по охране окружающей среды УР , 1999.- 244 с.
5. Абрамов Н.Ф., Мирный А.Н. //Отчет по НИР.- М.: Академия коммунального хозяйства им. К.Д.Памфилова, 1990.- 30 с.
6. Методические рекомендации по проверке природоохранной деятельности предприятий по учету, хранению, утилизации промышленных и твердых бытовых отходов в Удмуртской Республике. 19.11.93. // В сб. Химическое разоружение: природа, человек, право.- Ижевск: Детектив-информ, 1999.- С.628-641.
7. Рихванова М. // Волна, 2000.- № 2,- С.26-35.
8. Чеснокова Р.В. // Экология и промышленность России, 2001.- апрель,- С.42-47.
9. Торп Б. // Волна, 2001.- № 4,- С. 6-21.
10. Грибанова Л.П., Высокинская Р.В. // Тез.докл. конф. «Экологическая безопасность Урала», Екатеринбург, 2002.- Екатеринбург: «Урал-Принт», 2002.- С. 228-229.
11. Ли Д.Ф., Джонс-Ли Э. // Волна, 2000.- № 2,- С.36-40.
12. Юфит С.С. Мусоросжигательные заводы – помойка на небе. – М.: «Два Мира», 1998.- 42 с.
13. Юфит С.С. Мусоросжигатели – не решение проблемы удаления мусора // Волна, 2000.- № 2,- С.41-42.
14. Юфит С.С. Ядовитый смог над планетой.- М.: «Джеймс», 2000.- 40 с.
15. Юфит С.С. Европейские нормы для мусоросжигательных заводов.- М.: «Джеймс», 2001.- 48 с.
16. Ильина М.В. // Тез.докл. конф. «Экологическая безопасность Урала», Екатеринбург, 2002.- Екатеринбург: «Урал-Принт», 2002.- С. 231.
17. Дарулис П.В. Отходы областного города. Сбор и утилизация. – Смоленск, 2000.- 520 с.
18. Кроник В.С., Неелов И.П., Рашевский Н.Д. и др. // Экология и промышленность России, 2001.- Май,- С.35.
19. Долгих А.А., Кот В.И. // Тез.докл. конф. «Экологическая безопасность Урала», Екатеринбург, 2002.- Екатеринбург: «Урал-Принт», 2002.- С. 229.

20. Комплексная промышленная переработка бытовых и промышленных отходов в г. Ижевске. Муниципальная целевая программа. – Ижевск: Администрация г. Ижевска, 1998.- 22 с.

21. Короткин Е.М. // Тез. докл. конф. «Экологическая безопасность Урала», Екатеринбург, 2002.- Екатеринбург: «Урал-Принт», 2002.- С. 231-232.

22. Пурим В.Р. Бытовые отходы. Теория горения, обезвреживание, топливо для энергетики.- М: Энергоатомиздат, 2002.- 112 с.

23. Интернет-сайты Механического завода «Спецтранс», г.С.-Петербург: [www.spectrans.spb.ru](http://www.spectrans.spb.ru); [www.musor.spb.ru](http://www.musor.spb.ru).

24. Завод системы ИМАБЕ по переработке твердых бытовых отходов с линией сортировки.- Арганда дель Рей, Испания, 1995- 19 с.

25. Петров В.Г. Линия по сортировке твердых бытовых отходов, производительностью 200 т (1000 м. куб.) в сутки. Техническое задание на разработку проекта опытной установки – Ижевск: ИПМ УрО РАН, 1995- 13 с.

26. Предложение на поставку оборудования системы «ИМАБЕ ИБЕРИКА» по переработке твердых бытовых отходов.- Арганда дель Рей, Испания, 1995- 21 с.

27. Матвеева И.И. Энергетическое топливо. Характеристика и контроль качества./Справочник химика-энергетика.- М.: Энергия, 1972.- Т.3,- 216 с.

28. Агрохимия. Под ред. Ягодина Б.А. – М.: Агропромиздат, 1989.- 639 с.

29. Петров В.Г., Семакин В.П., Шумилова М.А. //Отчет по НИР.- Ижевск: ФТИ УрО АН СССР, 1990.- 65 с.

30. Петров В.Г., Махнев Е.С., Семакин В.П. // В сб. Проблемы механики и материаловедения.- Ижевск: ИПМ УрО РАН, 1994.- С.172-179.

31. Орлов Д.С., Малинина М.С., Мотузова Г.В. и др. Химическое загрязнение почв и их охрана. Справочник. – М.: Агропромиздат, 1991.- 303 с.

32. Трубникова Л.И. // Экология и промышленность России, 2002, октябрь.- С.34-35.

33. Петров В.Г., Трубачев А.В. Бытовые и промышленные отходы.- Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2004.- 72 с.

34. Родионов А.И., Клушин В.Н. Торчешников Н.С. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989.- 512 с.

35. Туровский И.С. Обработка осадка сточных вод. – М.: Стройиздат, 1988.- 256 с.

36. Petrov V.G., Trubachev A.V. // Book of Abstracts of 30-th Int. Symp. on Environmental Analytical Chemistry (ISEAC 30), Espoo, Finland, 2000.- PW24.

37. Справка о исследовании гидрохимического состояния донных отложений и бентоса р.Иж и Ижевского пруда.- Ижевск: Гос. комитет по экологии и природопользованию Удм. Респ., 1991.- 21 с.