

Министерство образования и науки Украины

Харьковская национальная академия городского хозяйства

**В.Н. Бабаев, Н.П. Горох, Ю.Л. Коваленко,
И.В. Коринько, А.С. Науменко, С.С. Пилиграмм,
И.Е. Саратов, В.А. Ткачев, Л.Н. Шутенко, В.А. Юрченко**

***Полимерные отходы
в коммунальном хозяйстве города***

Под общей редакцией

В.Н. Бабаева, И.В. Коринько, Л.Н. Шутенко

**Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
как учебное пособие для студентов специальностей
«Водоснабжение и водоотведение»,
«Экология и охрана окружающей среды»**

Харьков – 2004

Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города: Уч. пособие / Коллектив авторов. – Харьков: ХНАГХ, 2004. – 375 с.

Гриф выдан МОН Украины, решение № 14 / 18.2 – 204 от 11.02.2004 г.

Авторский коллектив:

Саратов И.Е. – Раздел 1; **Юрченко В.А.** – Раздел 2; **Горох Н.П.** – Раздел 3;

Бабаев В.Н. – введение, совместно с Саратовым И.Е. § 1.9, 1.9.1, 1.9.2, 1.9.3, 1.9.4, 1.9.5, 1.9.6, 1.9.6.1, 1.9.6.2, 1.9.6.3, совместно с Горохом Н.П. § 3.1, 3.4, 3.11; **Коринько И.В.** - терминология, совместно с Юрченко В.А. § 2.3.1, 2.3.2, 2.3.5.4, совместно с Горохом Н.П. § 3.1.1, 3.1.2, 3.2, 3.2.4, 3.2.5; **Коваленко Ю.Л.** – § 1.10; **Наumenко А.С.** – совместно с Горохом Н.П. § 3.3.3; **Пилиграмм С.С.** – совместно с Юрченко В.А. § 2.3.5.3, совместно с Горохом Н.П. § 3.10; **Ткачев В.А.** – § 1.6.6, совместно с Саратовым И.Е. § 1.6.4; **Шутенко Л.Н.** – совместно с Саратовым И.Е. § 1.1, 1.2, 1.3, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4, 1.4.1, 1.4.1.1, 1.4.1.2, 1.4.1.3, 1.4.1.4.

Общая редакция: **В.Н. Бабаев**, канд. техн. наук, профессор;
И.В. Коринько, д-р техн. наук, профессор;
Л.Н. Шутенко, д-р техн. наук, профессор.

Рецензенты: **А.В. Гриценко**, д-р геогр. наук, профессор, заместитель Министра охраны окружающей природной среды Украины;
Г.М. Семчук, канд. техн. наук, председатель Государственного комитета Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства;
В.Л. Авраменко, канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии пластических масс Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

В учебном пособии рассматриваются технологии сбора, накопления, переработки и применения полимерных отходов. Изложен отечественный и зарубежный опыт административно-правового управления отходами потребления. Обоснованы проблемы эксплуатационной надежности сооружений водоотведения с применением полимеров (в том числе вторичных) для защиты конструкций от биогенной сернокислотной агрессии. Анализируется мониторинг источников накопления вторичного сырья.

Приведены конструкционные характеристики оборудования и технологии переработки полимерных отходов, их применение в коммунальном хозяйстве города.

Рассчитано на студентов высших учебных заведений специальностей «Водоснабжение и водоотведение» и «Экология и охрана окружающей среды», а также на специалистов – экологов, технологов перерабатывающих предприятий.

Содержание

	Стр.
Введение	7
Раздел 1. <u>Муниципальное управление в сфере обращения с ТБО</u>	11
1.1 Объемы ТБО	11
1.2 Нормы накопления ТБО	11
1.3 Состав ТБО	15
1.3.1 Морфологический состав	15
1.3.2 Фракционный состав	16
1.3.3 Химический состав	18
1.4 Свойства ТБО	19
1.4.1 Физические свойства	19
1.4.1.1 Плотность	19
1.4.1.2 Связность и сцепление	19
1.4.1.3 Компрессионные свойства	19
1.4.1.4 Теплотехнические свойства	20
1.4.2 Санитарные аспекты муниципального управления в сфере обращения с ТБО	21
1.4.3 Обеззараживание ТБО	23
1.5 Аэробное обеззараживание ТБО методом компостирования	24
1.5.1 Метод полевого компостирования	26
1.5.2 Компостирование на мусороперерабатывающих заводах	28
1.5.2.1 Технологическая подготовка ТБО	28
1.5.2.2 Обеззараживание ТБО в биотермических барабанах	30
1.5.2.3 Контрольная сортировка обеззараженного ТБО	30
1.5.2.4 Извлечение черных металлов	31
1.5.2.5 Извлечение цветных металлов	32
1.5.2.6 Извлечение балластных включений	32
1.5.2.7 Извлечение измельченной пластмассовой пленки из компоста	33
1.6 Анаэробное обеззараживание ТБО на полигонах (санитарная засыпка)	33
1.6.1 Технология обеззараживания ТБО на полигонах	33
1.6.2 Биохимическая деструкция органики в теле полигона	36
1.6.3 Состав и утилизация биогаза	37
1.6.4 Образование и состав фильтрата	41
1.6.5 Сбор и удаление фильтрата за пределы полигона	49
1.6.6 Очистка фильтрата	50
1.6.7 Защита поверхностных водных объектов	53
1.7 Термические методы обеззараживания ТБО	56
1.7.1 Слоеое или камерное сжигание ТБО при температуре 800 – 1000 °С	56
1.7.2 Пиролиз ТБО	62
1.7.3 Плавка ТБО в слое расплавленного шлака при температуре 1250-1450 °С	67
1.8 Другие способы обеззараживания ТБО	68
1.8.1 Обеззараживание ТБО глубоким прессованием	68

1.8.2	Измельчение и капсулирование ТБО с отвердителем.....	70
1.8.3	Использование вермикулиты для обеззараживания пищевых ТБО	70
1.9	Муниципальное управление в сфере обращения с ТБО в городах Украины.....	72
1.9.1	Сбор и временное хранение ТБО у мест их образования.....	72
1.9.2	Удаление ТБО от места образования до мусороперегрузочной станции, мусороперерабатывающего или мусоросжигательного завода	74
1.9.3	Мусороперегрузочные станции.....	75
1.9.4	Транспортировка ТБО на участке от мусороперегрузочной станции до полигона.....	75
1.9.5	Полигоны ТБО.....	76
1.9.6	Перспективная схема муниципального управления в сфере обращения с ТБО для городов Украины.....	78
1.9.6.1	Первая стадия развития	79
1.9.6.2	Вторая стадия развития	82
1.9.6.3	Третья стадия развития	83
1.10	Развитие сферы обращения с ТБО в странах Западной Европы.....	84
1.10.1	Правовая и нормативная база сферы обращения с ТБО.....	84
1.10.2	Структура сферы обращения с ТБО.....	86
1.10.2.1	«Дуальная система» - организатор и посредник в вопросах сбора и переработки разовой упаковки.....	89
1.10.2.2	Система сбора ТБО.....	90
1.10.2.3	Транспортировка, перегрузка, сортировка ТБО.....	91
1.10.2.4	Переработка и извлечение ресурсно-ценных компонентов ТБО.....	94
1.10.2.5	Мусоросжигательные заводы.....	98
1.10.2.6	Полигоны по захоронению ТБО.....	98
	Вопросы для самопроверки.....	103

Раздел 2.	<u>Применение полимерных материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве.....</u>	104
2.1	Основные направления использования полимеров народном хозяйстве.....	104
2.2	Полимерные материалы в городском хозяйстве.....	107
2.2.1	Строительство	107
2.2.2	Теплоизоляция	108
2.2.3	Жилищно-коммунальное хозяйство.....	109
2.3	Использование полимерных материалов для повышения экологической безопасности, эксплуатационной надежности и долговечности сооружений водоотведения.....	114
2.3.1	Экологическая безопасность и эксплуатационная надежность сетей водоотведения.....	114
2.3.2	Механизм коррозионного разрушения бетона канализационных коллекторов.....	116
2.3.3	Генезис агрессивных эксплуатационных сред в сетях водоотведения.....	119
2.3.4	Борьба с микробиологической коррозией бетона сетей водоотведения, вызываемой ацидофильными тибациллами.....	126

2.3.5	Защита конструкций в сетях водоотведения полимерными материалами.....	127
2.3.5.1	Устойчивость полимерных соединений к микробиологической коррозии.....	128
2.3.5.2	Устойчивость полимерных материалов к биогенной сернокислотной агрессии.....	132
2.3.5.3	Практический опыт использования полимерных покрытий для защиты бетона от биогенной сернокислотной агрессии в сетях водоотведения.....	139
2.3.5.4	Использование полимерных материалов для бестраншейного ремонта водопроводно-канализационных сетей.....	143
2.4	Использование полимерных материалов на сооружениях очистки сточных вод.....	144
2.5	Изделия из вторичного полиэтилена в коммунальном хозяйстве.....	145
	Вопросы для самопроверки.....	150
 Раздел 3. Технология и оборудование для переработки вторичных полимеров.....		
3.1	Проблемы и перспективы комплексной утилизации ТБО.....	153
3.1.1	Система мониторинга источников использованной тары и упаковки как вторичного сырья	168
3.1.2	Внедрение технологии переработки тары и упаковки с учетом базы данных об их образовании.....	177
3.2	Отходы полимерных материалов как дополнительный резерв развития природно-ресурсного потенциала региона.....	190
3.2.1	Источники образования полимерных отходов.....	190
3.2.2	Основные понятия в системе утилизации полимерных отходов.....	197
3.2.3	Ресурсы вторичных полимеров.....	198
3.2.4	Методы сбора и заготовки вторичного полимерного сырья.....	200
3.2.5	Сбор полимерных отходов.....	201
3.3	Общая характеристика полимерных отходов	206
3.3.1	Классификация полимерных отходов	213
3.3.2	Физико-химические процессы деструкции полимерных отходов.....	214
3.3.3	Особенности влияния среды на полигонах ТБО.....	227
3.3.4	Подготовка полимерных отходов к переработке.....	246
3.4	Экологические и экономические аспекты вторичной переработки полимерных отходов.....	249
3.5	Оборудование для переработки полимерных отходов термопластичных материалов.....	255
3.5.1	Прессы червячные (экструдеры, грануляторы).....	257
3.5.1.1	Процесс экструзии.....	259
3.5.1.2	Расчет технологических параметров процесса экструзии.....	263
3.5.1.3	Расчет геометрических параметров и размеров шнеков.....	267
3.5.1.4	Производительность двухшнекового экструдера.....	277
3.5.2	Конструкционные и прочностные характеристики червяков экструдеров-грануляторов для производства гранул из полимерных отходов.....	279
3.5.3	Материальные цилиндры экструдеров-грануляторов.....	287

3.6	Измельчение полимерных отходов.....	291
3.6.1	Водоотделение, разделение и транспортировка измельченных полимеров.....	295
3.7	Агломерация измельчённых полимерных отходов.....	299
3.8	Производство гранул и профильных изделий методом экструзии.....	301
3.9	Технологическая линия переработки вторичного полимерного сырья.....	306
3.10	Энергосберегающие технологии проблем отхоодообращения.....	325
3.11	Тенденции развития технологий производства и оборудования для переработки вторичных сырьевых отходов.....	330
	Вопросы для самопроверки.....	343
	Терминология	345
	Приложения	351
	Список литературы	369

Введение

Настоящее учебное пособие посвящено одной из наиболее острых проблем современных мегаполисов – экологически безопасному управлению твердыми бытовыми отходами (ТБО), а именно таким их компонентам, как полимерные материалы. К сожалению, развитие инфраструктуры переработки полимерных отходов существенно отстает от интенсивного и стабильно возрастающего производства полимеров. Поэтому ежегодное накопление пластмасс достигает в мире десятков миллионов тонн. Это создает высокую экологическую напряженность в регионах, где складываются отходы, кроме того, из экономического кругооборота исключаются значительные объемы ценных ресурсных материалов. Управление размещением, накоплением и утилизацией отходов полимерной тары и упаковки решает не только вопросы охраны природной среды, но и такую важную (в том числе для Украины) проблему, как ресурсосбережение, поскольку полимерные отходы можно рассматривать как потенциальный ресурс продуктов нефтепереработки. Эколога-экономический анализ вторичной переработки полимерных отходов свидетельствует о целесообразности организации производства по рециклингу ценных сырьевых компонентов, входящих в состав ТБО.

Материалы учебного пособия представлены в трех разделах, каждый из которых направлен на решение конкретных задач управления полимерными отходами:

- теоретическое обоснование и выбор оптимальных решений на базе отечественного и зарубежного опыта в области сбора, накопления и рециклинга ТБО;
- особенности применения полимерных материалов, в том числе вторичных, в многоотраслевом жилищно-коммунальном хозяйстве, в частности обоснование их использования для решения одной из наиболее острых проблем водоотведения – эксплуатационной долговечности бетонных сетей;
- технологии и оборудование предприятий по переработке полимерных отходов и изготовлению из них продукции для коммунального хозяйства.

Анализируются современные научно-технические данные в области управления ТБО, эксплуатации сетей водоотведения, технологий рециклинга полимерных материалов и др., опубликованные ведущими отечественными и зарубежными специалистами, а также полученные авторами пособия в результате собственных исследований и разработок. Ценным является также то, что технология переработки пластмасс рассматривается на основании опыта эксплуатации реального промышленного производства.

В учебном пособии на достаточном научно-техническом уровне, в доступной форме решается триединая задача управления полимерными отходами в составе ТБО: экологическая, экономическая и ресурсосберегающая.

В Украине ежегодно образуется около 6 млн. тонн отходов, среди которых почти 50 % составляют отходы упаковки. Это происходит в результате повышения культуры потребления товаров и их упаковывания и, как следствие, появления большого количества одноразовой упаковки. По этому показателю мы догоняем Запад, но в отличие от Западной Европы, где перерабатывается от 35 до 70 % бытовых отходов, у нас до сих пор самым популярным способом остается захоронение отходов на специальных полигонах, проще говоря, свалках. В свое время в Украине была разработана специальная программа комплексного сбора, перевозки и утилизации отходов. В рамках этой программы планировалось построить несколько крупных предприятий по переработке бытовых отходов. Однако развал существовавшей во времена Союза системы сбора и утилизации отходов сделал переработку отходов невыгодной.

Что касается переработки пластмассовой упаковки, то она еще полностью не освоена. Отходы пластмасс поддаются утилизации в четырех направлениях:

- использование при изготовлении аналогичной продукции (т.е. в качестве первичной пластмассы);
- использование при изготовлении другой продукции (т.е. в качестве вторичной пластмассы);
- переработка в химическое сырье;
- сжигание.

Традиционные способы обезвреживания и захоронения твердых бытовых отходов в условиях непрерывного роста их объемов создают экологические, экономические и социальные проблемы для целых регионов. Альтернативным решением в управлении ТБО, имеющим также важное значение с точки зрения экономии исчерпаемых природных ресурсов, является повторное использование материальных средств (рециклинг). Повышение роли вторичных ресурсов и организация локального, регионального, а в перспективе и государственного техногенного кругооборота веществ – необходимое условие устойчивого развития современного общества.

Учебное пособие посвящено одному из наиболее перспективных решений в сфере управления твердыми полимерными отходами, входящими в состав ТБО, - утилизации отходов пластмасс методом рециклинга с последующим повторным использованием как вторичного сырья для изготовления различной продукции, в частности для коммунального хозяйства г. Харькова и Харьковского региона. Харьков является одним из самых больших экономических, промышленных и интеллектуальных центров Украины, где рельефно проявляются все процессы, которые сегодня в нем происходят.

Переработка и применение полимерных отходов, входящих в состав ТБО, - сравнительно молодая отрасль промышленности, имеющая небольшой практический опыт как в разработке технологий, так и в эксплуатации промышленных производств. Вовлечение в промышленную переработку отходов полимеров требует подготовки специалистов, досконально владеющих

современными технологиями переработки ТБО, способных к созданию новых перерабатывающих технологий и необходимого технологического оборудования.

Представленная в пособии система обращения с полимерными отходами, находящимися в составе ТБО, позволяет решить следующие актуальные задачи:

- ресурсосберегающую (сохранение и продление термина использования природных ресурсов, в частности нефти);
- экологическую (уменьшение количества накапливаемых отходов, снижение объема отходов, подлежащих сжиганию или захоронению на полигонах, а следовательно, предотвращение загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы);
- экономическую (возвращение в производства дополнительных материальных ресурсов, сокращение дефицита отдельных материалов).

В первой части учебного пособия изложен отечественный и зарубежный опыт административно-правового управления отходами потребления: технологии сбора, накопления и переработки отходов, в том числе полимерных, а также области их применения в виде готовой продукции.

Основные направления применения полимерных материалов в коммунальном хозяйстве рассмотрены во второй части пособия. Особое внимание уделено проблеме эксплуатационной надёжности сооружений водоотведения, в решении которой перспективным является применение полимеров (в том числе вторичных) для защиты от биогенной сернокислотной агрессии.

Третья часть посвящена вопросам переработки теоретического обоснования и промышленным технологиям переработки вторичных ресурсов. В ней детально представлен в качестве реального примера технологический процесс, используемый в опытно-экспериментальном производстве ООО "Харьковвторполимер" по переработке полимерных отходов мощностью 500 т/год.

Изложенные авторами проблемы и технологические решения промышленной переработки полимерных отходов предназначены для специалистов-переработчиков пластмасс, инженерно-технических работников городского хозяйства. Они будут полезны для подготовки студентов специальностей "Водоснабжение и водоотведение" и "Экология и охрана окружающей среды".

Авторы не претендуют на полноту изложения, поскольку ограниченный объём пособия не позволил в полной мере представить хозяйственные и экологические проблемы переработки полимерных отходов, входящих в состав ТБО.

Искренне благодарны кандидату технических наук, профессору Авраменко В.Л., доктору географических наук, профессору Гриценко А.В., кандидату технических наук Семчуку Г.М. за рецензирование рукописи и ценные критические замечания.

Авторы будут признательны за высказанные критические замечания и предложения, необходимые для дальнейшей работы над созданием комплексной технологии переработки вторичного полимерного сырья мегаполисов и решения проблемы муниципальных отходов, исключительно острой для городов Украины.

Раздел 1. Муниципальное управление в сфере обращения с ТБО

1.1. Объемы ТБО

Ежегодно на нашей планете образуется несколько миллиардов кубических метров твердых бытовых отходов. Украина здесь не является исключением, на ее территории ежегодно образуется около 50 млн. м³ ТБО, в том числе, на территории Харьковской области – более 1,5 млн. м³.

Количество ТБО, образующихся в различных странах мира на душу населения, представлено в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – **Количество ТБО в странах мира**

Страна	Максимальный показатель, кг/год на 1 чел.	Страна	Максимальный показатель, кг/год на 1 чел.
США	780	Швеция	270
Канада	500	Испания	260
Франция	470	Норвегия	260
Финляндия	400	Польша	310
Великобритания	550	Нидерланды	250
Дания	400	Швейцария	400
Германия	400	Россия	420
Чехия	550	Украина	390

В последние годы во всех странах мира, включая Украину, наблюдается устойчивая тенденция роста количества ТБО, приходящихся на душу населения. Особенно четко она проявляется в крупных городах.

1.2. Нормы накопления ТБО

Нормы накопления - это количество отходов, образующихся на расчетную единицу. В качестве одной расчетной единицы принимают: одного человека - для жилищного фонда; одно место – в гостинице; 1м² торговой площади – для магазинов, складов, рынков и т.п.; одно посадочное место – в столовых, кафе, ресторанах, кинотеатрах и т.п.; одного ребенка – в детских учреждениях; одного учащегося – в школах, училищах, институтах и т.п. Нормы накопления определяют в единицах массы (кг) или объема (л, м³).

К ТБО, входящим в норму накопления от населения и удаляемым специальным автотранспортом, относятся отходы, образующиеся в жилых и общественных зданиях (включая отходы от текущего ремонта квартир), отходы от отопительных устройств местного отопления, смёт с улиц и внутриквартальных территорий, тротуаров и проездов, опавшие листья,

собираемые с улиц и дворовых территорий, крупные предметы домашнего обихода (мебель, электротехника, холодильники, стиральные машины и т.п.). Нормы накопления ТБО образуются из двух источников:

- жилых зданий;
- учреждений и предприятий общественного назначения (общественного питания, учебных, зрелищных, гостиниц, детских садов и др.).

Величина норм накопления зависит от степени благоустройства жилищного фонда (наличия мусоропроводов, газа, водопровода, канализации, системы отопления), этажности, вида топлива при местном отоплении, развития сети общественного питания, культуры торговли, степени благосостояния населения и других факторов. Для крупных городов нормы накопления выше, чем для средних и малых городов и сельских населенных пунктов.

Государственным комитетом Украины по жилищно-коммунальному хозяйству утверждены «Рекомендованные нормы накопления ТБО для населенных пунктов Украины», которые приведены в табл.1.2 и 1.4. Указанные нормы накопления разработаны Харьковским научно-исследовательским и проектным институтом «УкркоммунНИИпрогресс».

Таблица 1.2 – Средние нормы накопления ТБО для жилых домов

Группы поселений	Объекты	Нормы накопления ТБО на одного жителя				Плотность ТБО
		Среднесуточная		Среднегодовая		
		кг	л	кг	м ³	
	Благоустроенные дома (газ, центральное отопление, водопровод, канализация)					
1-2		0,64	3,07	235	1,12	210
3-5		0,67	3,00	245	1,09	225
1-5	Неблагоустроенные дома (без водопровода и канализации)					
	▪ с газовым отоплением	0,88	3,52	321	1,28	250
	▪ с отоплением на твердом топливе	1,07	3,56	390	1,30	300
1-5	Дома частного сектора с приусадебным участком, в т.ч. в сельской местности					
	▪ с газовым отоплением	1,27	3,53	452	1,29	350
	▪ с отоплением на твердом топливе	1,59	3,86	580	1,41	410

Примечания:

1. Нормы приведены для ТБО без отбора пищевых отходов. В случае отбора пищевых отходов нормы уменьшаются на 15 %.
2. Для благоустроенных домов с мусоропроводами норма накопления ТБО на 10 % выше, чем для таких же домов без мусоропроводов.
3. Плотность мусора (табл. 1.2, 1.3) отвечает его состоянию в мусоросборниках перед загрузкой в мусоровозный транспорт.
4. Среднегодовая норма накопления крупногабаритных ТБО на одного жителя составляет 0,12 м³.

Таблица 1.3 – Группы населенных пунктов

Группы поселений	Города	Население, тыс. чел.	
		городов	сельских поселений
1	Наиболее значительные	Более 1000	
2	Значительные	500 - 1000	Более 5 Более 2 до 5
3	Большие	250 - 500	Более 1 до 3 Более 0,5 до 1
4	Средние	Более 100 до 250 Более 50 до 100	Более 0,2 до 0,5
5	Малые*	Более 20 до 50 Более 10 до 20 До 10	Более 0,05 До 0,2 До 0,05

* В группы малых городов входят населенные пункты городского типа.

Таблица 1.4 – Средние нормы накопления для объектов общественного, административного и культурно-бытового назначения

№ п/п	Объект	Расчет- ная единица	Норма накопления на одну расчетную единицу				Плот- ность мусора, кг/м ³
			среднесуточная		среднегодовая		
			кг	л	кг	л	
1	Гостиница	Место	0,27	1,56	99	582	170
2	Общежитие	Место	0,3	1,43	110	523	210

Продолжение табл. 1.4

3	Лечебно-профилактическое учреждение: - больница - поликлиника	Место посещения	0,65 0,01	2,5 0,063	247 3	916 19	270 160
4	Санаторий, пансионат, дом отдыха	Место	0,68	2,74	250	1000	250
5	Детское дошкольное учреждение	Место	0,28	1,17	70	292	240
6	Учебные заведения: - высшие и средние специальные - школа - школа-интернат - профтехучилище	Ученик	0,09 0,07 0,50 0,40	0,47 0,38 2,08 1,90	22 18 125 100	116 95 520 476	190 190 240 210
7	Предприятия торговли Промтоварный магазин Продуктовый магазин Рынок	м ² торг. площади	0,15 0,30 0,11	0,83 1,58 0,30	45 90 40	250 474 108	180 190 370
8	Предприятия общественного питания - ресторан: с отбором пищевых отходов; без отбора пищевых отходов - кафе, столовая: с отбором пищевых отходов; без отбора пищевых отходов	Блюдо / день	0,07 0,10 0,04 0,05	0,26 0,33 0,17 0,18	255 36 15 18	94 120 62 67	270 300 240 270
9	Склад	м ² площади	0,10	0,22	25	55	450
10	Административные и общественные учреждения и организации	Рабочее место	0,25	1,24	62	310	200
11	Зрелищные учреждения	Место	0,07	0,46	25	166	150
12	Предприятия бытового обслуживания	Рабочее место	0,7	2,8	231	924	250

Продолжение табл. 1.4

13	Вокзал, аэропорт, автовокзал	м ² пассажирской площади	0,37	1,68	135	614	220
14	Кемпинг, автостоянка	Машино-место	1,65	6,6	602	2408	250
15	Пляж (курортный сезон)	м ² территории	0,03	0,19	-	-	160
16	Место содержания домашних животных:	1 голова					
	- корова	- // -	33	-	8000		
	- конь	- // -	25	-	6000		
	- свинья	- // -	6	-	1500		
	- коза, овца	- // -	3,3	-	800		
	- птица	- // -	0,015	-	5,5		

Примечание: Данные приведены с учетом дворового смёта.

Уточнение норм накопления ТБО, образующихся в условиях города, производится на специально выбранных контрольных участках. В городах с населением до 300 тыс. чел. контрольный участок должен охватывать до 2% жителей, в городах с населением до 500 тыс. чел. – до 1% жителей, в городах с населением более 500 тыс. чел. – до 0,5% жителей. Из культурно-бытовых объектов выбирают не менее двух наиболее характерных для данного города. Нормы накопления определяют по сезонам года. Замеры выполняют в течение семи дней и оформляют соответствующими актами, которые утверждаются горисполкомами как эталоны норм накопления ТБО на последующие 5 лет.

1.3. Состав ТБО

1.3.1. Морфологический состав

В состав ТБО входят следующие компоненты (в %):

- бумага, картон, бумажные упаковки - до 30;
- пищевые отходы - до 45;
- дерево - до 4;
- металл черный - до 4,5;
- металл цветной - до 0,3;
- текстиль - до 7;
- кости, камни, фаянс, стекло - до 5;
- кожа, резина, обувь - до 4;
- различные пластмассовые изделия - до 5;
- смёт (частицы менее 15 мм) - до 5.

Все приведенные выше процентные соотношения морфологического состава ТБО условные, так как на соотношение составляющих влияют степень

благоустройства жилого фонда, благосостояние населения того или иного района, сезоны года, климатические условия. Так, в зависимости от сезона года особенно большие колебания содержания в ТБО пищевых отходов – с 20% в начале весны до 45% и более в конце лета – начале осени. В состав пищевых отходов входят картофельные очистки, отходы овощей, фруктов, отходы хранения овощей и фруктов и др. Пищевые отходы содержат крахмал, жиры, белки, углеводы, клетчатку, витамины. Влажность пищевых отходов колеблется от 60-70% весной до 80-85% летом и осенью. Влажность пищевых отходов ресторанов, столовых и других предприятий общественного питания (в связи со сбором недоеденной клиентами заказанной пищи и мытьем посуды) может достигать 95%. В то же время пищевые отходы ресторанов, кафе и других предприятий общественного питания практически не содержат балластных включений (бой стекла, посуды, металлических крышек и банок), что часто встречается в пищевых отходах при валовом сборе у населения. В целях сохранности и возможности использования пищевых отходов их следует хранить летом (при температуре 6 – 7°C) не более 10 часов, а зимой (при температуре менее 6 – 7°C) не более 30 часов. Емкости для хранения пищевых отходов необходимо мыть 2% раствором кальцинированной соды или хлорной извести, содержащей 2% активного хлора, а затем тщательно полоскать водой.

Тенденции последних лет в изменении морфологического состава ТБО городов Украины, подтверждающиеся опытом зарубежных развитых стран, показывают следующее:

- резко уменьшились (и продолжают уменьшаться) объемы пищевых отходов;
- в пищевых отходах практически отсутствуют хлеб и хлебобулочные изделия;
- очень мало рыбных отходов;
- увеличился и продолжает увеличиваться объем бумажных, картонных и пластмассовых изделий (различные мешочки, коробки, бутылки и банки, посуда одноразового использования, жесткие и полужесткие ящики, упаковочные противоударные прокладки, листовые пленки и др.);
- в связи с отсутствием широкой сети сбора макулатуры, а также ростом количества бумажных упаковок в составе ТБО продолжают увеличиваться объемы бумаги и картона;
- увеличиваются объемы текстиля и обуви.

1.3.2. Фракционный состав

Основная масса ТБО представлена фракциями до 150 мм (80 - 90%) и только менее 2% ТБО имеют фракции более 350 мм (балластные примеси). В табл. 1.5 приведены ориентировочные усредненные данные содержания различных фракций в общей массе ТБО (в % от общей массы).

Таблица 1.5 – Ориентировочное содержание различных фракций в общей массе ТБО

Наименование составляющих ТБО	Величина фракций, мм				
	350-250	250-150	150-100	100-50	менее 50
Бумага	3 - 8	9 - 11	9 - 11	7 - 9	2 - 8
Пищевые отходы	-	0 - 1	2 - 10	7 - 9	17 - 22
Металл	-	0 - 1	0,5 - 1	0,8 - 16	0,3 - 0,5
Дерево	0,5 - 1	0 - 0,5	0 - 0,5	0,5 - 1	0 - 0,5
Текстиль	0,2 - 1,3	1 - 1,5	0,5 - 1	0,3 - 1,8	0 - 0,5
Кости	-	-	-	0,3 - 0,5	0,5 - 0,9
Стекло	-	0 - 0,3	0,3 - 1	0,5 - 1,5	0 - 0,3
Кожа, резина	-	0 - 1	0,5 - 2	0,5 - 1,5	0 - 0,3
Камни	-	-	0,2 - 1	0,5 - 1,5	0,5 - 2
Пластмасса	0 - 0,2	0,3 - 0,8	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5	0,2 - 0,5
Смет и прочее	-	0 - 0,5	0 - 0,5	0 - 0,4	7 - 11
ВСЕГО:	4 - 10	11 - 15	18 - 22	20 - 30	30 - 40

Как видно из данных табл. 1.5, фракционный и морфологический состав ТБО взаимосвязаны: чем больше в ТБО пищевых отходов, имеющих в основном размеры менее 50 мм, тем больше в их составе мелких фракций, и наоборот, при увеличении в составе ТБО различных упаковок, бутылей, крупногабаритных ящиков, журналов и т.п., имеющих размеры более 150-350 мм, значительную долю в массе составляют крупные фракции.

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения крупногабаритных фракций в основном за счет различных упаковок, бутылок и ящиков. В табл.1.6 приведен ориентировочный перечень крупногабаритных ТБО.

Таблица 1.6 – Ориентировочный состав крупногабаритных ТБО

Преобладающий материал	Составляющие
1	2
Дерево (до 60%)	Мебель, обрезки деревьев и кустарников, доски, ящики, двери, скамейки, фанера, старые рамы, лестницы
Керамика, стекло (до 18%)	Фаянсовые раковины, унитазы, листовое стекло, лампы дневного света, посуда, бутылки, бой стекла
Металл (до 9%)	Холодильники, газовые плиты, стиральные машины, пылесосы, кровати, корыта, сетки, баки, бидоны, раковины, трубы, радиаторы

1	2
Бумага, картон (до 6%) Текстиль (до 1%)	Упаковочные материалы, обои, мешковина упаковочная, пальто, одеяло, матрасы
Кожа, резина, смешанные материалы (до 5%)	Шины, чемоданы, сумки, диваны, кресла, клеенки
Пластмасса (до 1%)	Детские ванны, ведра, тазы, линолеум, пленки

Как видно из этого перечня, большая часть крупных ТБО по своим габаритам не вмещается в стандартные контейнеры и для их временного хранения требуется создание специальных площадок с твердым покрытием и подъездом для автотранспорта и погрузчиков. В крупных городах за год в расчете на каждого человека накапливается до 40-50 кг крупногабаритных ТБО с массой менее 0,2 т/м³. В последние годы отмечается четкая тенденция – среди крупногабаритных фракций ТБО увеличились и продолжают расти такие особо крупные составляющие, как старые холодильники, газовые плиты, мебель, телевизоры, компьютеры и другие предметы долговременного использования.

1.3.3. Химический состав

Усредненные ориентировочные данные химического состава ТБО для городов Украины приведены в табл. 1.7

Таблица 1.7 – Химический состав ТБО

Показатели	Состав в % от сухой массы
Органические вещества	56 – 80
Зольность	20 – 44
Общий азот	0,9 – 2,7
Кальций	2 – 5,7
Углерод	28 – 39
Фосфор	0,5 - 0,8
Общий калий	0,5 – 1,1
Другие микроэлементы	< 0,1

Как видно из данных табл. 1.7, ТБО можно отнести к веществам, из которых можно получить ценные органические удобрения.

1.4. Свойства ТБО

1.4.1. Физические свойства

1.4.1.1. Плотность

Плотность ТБО городов Украины составляет в среднем $0,19 - 0,23 \text{ т/м}^3$ и колеблется в значительных размерах в зависимости от благоустройства жилого фонда, благосостояния жителей, сезонов года и других факторов. Так, для благоустроенного жилого фонда плотность ТБО в зависимости от сезона года может колебаться от $0,18$ до $0,25 \text{ т/м}^3$, а для неблагоустроенного жилого фонда с печным отоплением – от $0,3$ до $0,6 \text{ т/м}^3$. Чем выше благосостояние населения, тем больше в морфологическом составе ТБО различных бумажных, пластмассовых и металлических упаковок, а значит – меньше плотность ТБО. При длительном временном хранении ТБО в мусорных ведрах или контейнерах отмечается повышение плотности за счет самоуплотнения. При этом ТБО слеживаются, увлажняются и теряют сыпучесть.

В настоящее время за счет увеличения различного рода упаковок наблюдается четко выраженная тенденция снижения показателя плотности ТБО в городах Украины. Опыт зарубежных развитых стран показывает, что показатель плотности ТБО в настоящее время уже вплотную приблизился к величине, близкой $0,1 \text{ т/м}^3$.

1.4.1.2. Связность и сцепление

Бумага, картон, текстиль, пластмассовые мешки и пакеты, ветки и другие включения формируют связную структуру ТБО и придают им механическую связность. Липкие и влажные компоненты ТБО обеспечивают им сцепление. Эти свойства ТБО вызывают прилипание ТБО к стенкам контейнеров, кузовов мусоровозов, а также различного рода бункеров. Так, на стенках бункеров с углами наклона менее $65 - 70$ градусов происходит налипание и зависание ТБО, а над небольшими отверстиями образуются своды ссыпаемого мусора. Например, через решетку $0,3$ на $0,3 \text{ м}$ ТБО самостоятельно не проваливаются и для этого требуются дополнительные побудители. При длительном хранении (более $3 - 5$ дней) ТБО теряют сыпучесть.

1.4.1.3. Компрессионные свойства

Для уменьшения общего объема ТБО при перевозке в кузовах мусоровозов и при складировании на полигонах важно знать их компрессионные свойства, т.е. влияние давления на степень уплотнения.

При послойном уплотнении на полигонах слоя ТБО толщиной $0,5 \text{ м}$ при удельном давлении, равном $0,1 \text{ МПа}$, объем рыхлых ТБО, выгруженных из мусоровозов (предельно рыхлое состояние ТБО), уменьшается в зависимости от количества ходок уплотнителя в $3 - 4$ раза. При прессовании ТБО в

мусоровозе при удельном давлении 0,1МПа их объём уменьшается в 1,5 - 2 раза.

При повышении удельного давления до 0,3 - 0,5 МПа происходят поломка упаковок и пластмассовых ёмкостей, прессование бумаги, картона и различных плёнок, выдавливание фильтрата. При этом объём ТБО в зависимости от состава и влажности может быть уменьшен в 5 раз от первоначального, образованного при высыпании ТБО из контейнеров в кузов мусоровоза, а плотность достигать величины 0,8 – 0,9 т/м³.

При повышении удельного давления до 10 - 20 МПа отжимается 80 – 90 % влаги, содержащейся в ТБО при их сборе и временном хранении в контейнерах. Объём ТБО при таком сжатии уменьшается в 10 раз в сравнении с первоначальным, образованным при разгрузке контейнеров в кузов мусоровоза или при разгрузке мусоровоза на полигоне. Спрессованные таким образом ТБО на какое-то время недоступны для активной жизнедеятельности микроорганизмов, из-за затруднённого доступа кислорода и недостаточной влаги.

При дальнейшем повышении удельного давления, например, до 60 МПа, происходит почти полное отжатие влаги, но объём практически уже не изменяется. Микробиологическая жизнь в таких спрессованных ТБО замедляется.

1.4.1.4. Теплотехнические свойства

Наличие в ТБО большого количества органических веществ обуславливает их теплотворную способность. Удельная теплоёмкость $C_{уд}$ основных компонентов ТБО определяется по формуле

$$C_{уд} = 21,9 W + 2000 \text{ Дж/кг*градус C},$$

где W-влажность ТБО, % .

Удельная теплоёмкость основных компонентов ТБО (в Дж/градус C) следующая :

- вода – 4190;
- дерево, картон, бумага - 2000 – 2500;
- стекло, фаянс, камни – 800 - 1000;
- железо- 400;
- алюминий - 860.

Теплотворная способность ТБО зависит от их плотности. Так, при изменении плотности от 0,2 до 0,5 т/м³ теплотворная способность сухих ТБО снижается с 2000 до 940 ккал/кг.

Теплотворная способность горючих компонентов ТБО(ккал/кг):

- бытовой мусор жилых помещений – 800 - 2000;
- бумага, картон – 1800 - 2750;
- пищевые отходы – 750 - 900;

- дерево – 3200 - 3400;
- текстиль – 2900 - 3400;
- кожа, резина – 5000 - 6000.

Наблюдается устойчивая тенденция повышения теплотворной способности ТБО больших городов за счет увеличения содержания горючих компонентов различных упаковок в их составе.

1.4.2. Санитарные аспекты муниципального управления в сфере обращения с ТБО

ТБО содержат большое количество влажных органических веществ, которые, разлагаясь, выделяют тепло, гнилостные запахи, фильтрат. Фильтрат - это жидкость, выделяющаяся при уплотнении или самоуплотнении влажных ТБО, а также жидкость, образующаяся при аэробных микробиологических процессах, протекающих в ТБО при разложении. Фильтрат образуется также за счет атмосферных осадков, попадающих на поверхность ТБО в контейнерах временного хранения, не оборудованных крышками, а также на поверхность полигона ТБО, профильтровавшихся через их толщу.

В толще ТБО образуются продукты неполного разложения, насыщенные различными сапрофитными и патогенными микроорганизмами, – до 15 млрд. микроорганизмов на 1 г сухого вещества. Так, в теплой и влажной среде вареного мяса (после длительного кипячения вареное мясо условно можно рассматривать как стерильное вещество) через 15-20 часов наблюдается бурное развитие различных микроорганизмов и такое мясо может стать носителем болезнетворных (патогенных) микроорганизмов. Эти патогенные микроорганизмы не обязательно должны первоначально присутствовать в исходном органическом материале, потому что в окружающей воздушной среде всегда находится большое количество различных спор, бактерий, вирусов, ожидающих благоприятных условий для размножения. Кроме того, часто патогенную микрофлору переносят мухи, комары и грызуны. Американские исследователи определили, что в городе 90% комнатных мух размножаются в среде ТБО открытых мусорных контейнеров и мусорной россыпи в местах временного хранения ТБО.

Влажные, теплые ТБО являются привлекательной средой для выплода мух и других насекомых, для питания птиц, крыс, диких и одичавших домашних животных. При высыхании ТБО образуют насыщенную различными загрязнителями и патогенными микроорганизмами пыль. Насекомые, птицы и животные разносят эти загрязнения. Таким образом происходит не только загрязнение воздуха, почв, растений, поверхностных и подземных вод, но и их заражение патогенными микроорганизмами и яйцами гельминтов, которые являются носителями различных заболеваний. Некоторые патогенные микроорганизмы могут находиться в среде пыли и фильтрата ТБО довольно долго, а яйца гельминтов могут сохранять свою способность размножаться в

течение многих лет. С пылью и фильтратом загрязнители и патогенная флора мигрируют на далекие расстояния и, выносясь за пределы площадки складирования, являются источниками загрязнения и заражения вод, почвенного покрова и растений.

Патогенные микроорганизмы, обнаруживаемые в ТБО, являются возбудителями гепатита, туберкулеза, дизентерии, аскариоза, респираторных, аллергических, кожных и многих других заболеваний.

По действующим в Украине санитарным нормам для определения бактериального заражения патогенной микрофлорой ТБО пользуются титрами (титр – содержание чего-либо в единице объема). В качестве тест-объекта используют “коли-титр”, т.е. определяют количество клеток кишечной палочки, которые свидетельствуют о развитии другой более опасной патогенной микрофлоры. В странах Европейского Союза в качестве титра используют фекальный стафилококк.

Еще одной негативной стороной санитарных проблем в сфере обращения с ТБО является их горение на открытых свалках. Причиной таких пожаров являются как самовозгорание и удары молний, так и неосторожное обращение с огнем, а часто, и намеренные поджоги свалок с целью получения дополнительной емкости складирования.

Низкотемпературное горение ТБО продуцирует огромное количество летучей золы и сажи, а наличие в ТБО пластмасс (особенно из группы уретанов и винилов) – целый ряд ядовитых газов. При таком сгорании поливинилхлориды, содержащиеся в домашних вещах, упаковках и пленках, в игрушках и т. д., превращаются в хлористый водород (соляная кислота) – каждый килограмм поливинилхлорида образует около 600 – 700 г газообразного хлористого водо-рода. Содержание поливинилхлоридной смолы в отходах пластмасс составляет около 11% по массе. Таким образом, пожары на свалках ТБО являются интенсивными источниками загрязнения атмосферы. Аналогичная картина наблюдается при сжигании опавших листьев непосредственно в жилых кварталах. Только в этих случаях источник загрязнения воздуха вплотную придвинут к жилой застройке.

Приведем несколько цифр, характеризующих процессы разложения ТБО при хранении в открытых свалках (аэробное разложение) и в закрытых полигонах (анаэробное разложение). Так, в верхнем слое ТБО, заскладированных на открытой свалке, обезвреживание завершается только через 15 - 25 лет. В более глубоких слоях процесс полного обезвреживания протекает еще медленнее. Характерен в этом плане следующий пример. В США в связи с расширением одного города решили перенести старую свалку, закрытую 50 лет назад, на новое место (вырыть и переместить старые ТБО на новую свалку, а образовавшийся котлован засыпать инертным грунтом). При этом обнаружили, что старые газеты, пролежавшие в свалке более 50 лет, еще можно было прочитать!

Для полного разрушения жестяной, покрытой оловом консервной банки требуется около 100 лет. Банка из тонкого алюминиевого листа полностью разложится примерно через 500 лет! Мешочки из полиэтиленовой пленки

разрушатся за 200 лет. Массивным изделиям из пластмассы для полного разложения требуются 500 - 1000 лет. По свидетельству археологов, изделия из стекла сохраняются многие тысячи лет.

Американские наблюдения за фильтратом, вытекающим из тела свалки или полигона, показывают, что процесс образования фильтрата измеряется многими десятилетиями и соизмерим со сроком жизни самого полигона, включая активный период заполнения его ТБО, и пассивный период после закрытия полигона.

Описанные выше санитарные проблемы, возникающие в сфере обращения с ТБО, а именно непривлекательный вид мест временного хранения обычного и крупногабаритного ТБО, бурное развитие патогенной микрофлоры в среде влажных ТБО и в связи с этим опасность возникновения эпидемии, насыщенная болезнетворными микроорганизмами пыль, разносимая ветром, насекомыми, птицами, дикими и одичавшими животными, запахи и токсичные газы, высокозагрязненный фильтрат, загрязнение атмосферы продуктами неполного сгорания при горении ТБО в открытых контейнерах и свалках или при сжигании опавшей листвы во дворах и др., требуют строгой и четкой организации системы сбора, временного хранения, регулярного своевременного вывоза, надежного обеззараживания, переработки с максимально возможной утилизацией вторичного сырья и захоронением неутилизированных составляющих ТБО на полигонах, обеспечивающих надежную защиту атмосферы, почв, грунтовых и поверхностных вод от загрязнения.

Все мероприятия в сфере обращения с ТБО должны удовлетворять требованиям действующих в Украине «Санитарных правил содержания населенных мест», «Санитарных правил устройства и содержания полигонов для ТБО», «Санитарных правил по сбору, хранению, транспортировке и первичной обработке вторичного сырья» и других нормативных документов, регулирующих обращение с ТБО.

1.4.3. Обеззараживание ТБО

С учетом санитарных требований защиты населения в мировой практике разработаны следующие схемы обеззараживания, переработки, утилизации и захоронения ТБО:

1. Обеззараживание ТБО методом компостирования (аэробный процесс).
2. Обеззараживание ТБО методом его захоронения в грунт на полигонах (анаэробный процесс).
3. Термическое обеззараживание путем сжигания ТБО в колосниковых печах.
4. Термическое обеззараживание путем прокаливания ТБО без доступа кислорода (пиролизный процесс).
5. Обеззараживание ТБО в слое расплавленного шлака (процесс Ванькова).
6. Обеззараживание ТБО путем механического измельчения и последующего капсулирования с отвердителем.
7. Обеззараживание ТБО путем глубокого прессования.

8.Обеззараживание органической составляющей ТБО с использованием вермикультур.

1.5. Аэробное обеззараживание ТБО методом компостирования

Для аэробного обеззараживания ТБО используют метод компостирования. Компостирование – это биохимический процесс, предназначенный для преобразования органических твердых отходов в стабильный, подобный гумусу продукт, который в основном используется для улучшения состава почвы.

Компостирование является аэробным процессом и состоит из мезофильной и термофильной стадий. Как биохимический процесс он лимитируется микробными популяциями и факторами внешней среды. Теоретически аэробные химические реакции, протекающие в теле ТБО в присутствии воздуха, можно представить в следующем виде.

Первая стадия



На первой стадии путем биохимического расщепления (гидролиза) высокомолекулярные соединения разлагаются на низкомолекулярные.

Вторая стадия



Как видно из приведенных формул, глюкоза может быть полностью окислена до получения углекислого газа и воды при аэробных условиях с выделением тепла в количестве 688 Ккал/моль глюкозы – составной части целлюлозы. При этом весь процесс можно условно описать таким образом.

Первая стадия характеризуется ускоренным развитием мезофильных микроорганизмов, которые в результате их жизнедеятельности выделяют тепло и разогревают ТБО до температуры 25 – 35° С. При достижении этой температуры создаются оптимальные условия для развития термофильных микроорганизмов. При этом процессам жизнедеятельности микроорганизмов способствуют:

- наличие влаги; оптимум 45-60% осуществляется за счет дополнительного орошения;
- наличие кислорода во всех точках среды ТБО; осуществляется за счет пористости ТБО и его перемешивания в искусственных условиях биобарабанов;
- при дополнительной подаче воздуха в количестве 0,25 (зимой) и 0,8 (летом) м³/кг ТБО;

- уменьшение потерь тепла; осуществляется за счет термоизоляции;
- увеличение удельной поверхности; осуществляется за счет извлечения из ТБО крупногабаритных фракций и измельчения.

При оптимальных условиях первая стадия может продолжаться 1 – 3 дня.

Вторая стадия характеризуется ускоренным развитием термофильных микроорганизмов и выделением тепла в результате разложения более широкого спектра органических веществ. При этом за счет большого выделения тепла температура в среде ТБО поднимается до 60-75⁰С. Такая температура губительна для патогенных микроорганизмов. Эта особенность аэробного микробиологического процесса разогревать ТБО в короткие сроки используется для их обеззараживания. Наглядно процесс обеззараживания ТБО представлен в табл. 1.8.

Таблица 1.8 – Влияние температуры на патогенные микроорганизмы

Возбудители заболеваний	Время жизни патогенов в среде ТБО, дней	Время, необходимое для уничтожения патогенов	
		при температурах	минут
Туберкулез	До 180	55 – 65 ⁰ С	5 – 60
Тиф	До 115	55 – 60 ⁰ С	5 – 30
Дизентерия	До 40	55 – 60 ⁰ С	60
Холера	До 3	50 ⁰ С	80 – 60

Наряду с температурой важным обеззараживающим фактором являются антибиотики, которые продуцируют мезофильные и термофильные микроорганизмы. Антибиотики подавляют развитие патогенных микроорганизмов и вызывают их гибель.

Третья стадия характеризуется медленным падением температуры в среде ТБО, что свидетельствует об использовании легкоразлагаемых органических соединений. На этой стадии термофильные микроорганизмы частично отмирают или сохраняются в виде спор. При падении температуры в среде ТБО до 20 - 30⁰С мезофильные микроорганизмы вновь начинают активно размножаться. При этом они обладают более разнообразной и мощной ферментативной системой, с помощью которой разлагаются более стойкие органические соединения (например, лигнин и др.). При компостировании ТБО происходит не только разложение органики, но и ее синтез с образованием гуминовых соединений, улучшающих качество органических удобрений.

Эффект аэробного обеззараживания в процессе компостирования наглядно виден по результатам, приведенным в табл. 1.9.

Таблица 1.9 – Эффект аэробного обеззараживания в процессе компостирования

Вид микроорганизмов	В исходном ТБО	В готовом компосте
Фекальные колиформы (условные патогены)	$27 \cdot 10^7$	8

Лигнин – органическое вещество, входящее в состав растительных клеток.

Обеззараживание при компостировании ТБО можно осуществлять как на открытых полевых площадках, так и в условиях мусороперерабатывающего завода в биобарабанах.

1.5.1. Метод полевого компостирования

Обеззараживание и утилизация ТБО небольших городов (до 50 тыс. населения) и населенных пунктов сельского типа целесообразно осуществлять методом полевого компостирования. Его принципиальная технологическая схема приведена на рис.1.1.

Метод полевого компостирования характеризуется тем, что процесс образования компоста происходит на открытом воздухе путем выдерживания ТБО в удлиненных штабелях. Аэрация ТБО осуществляется периодическим перемешиванием тела штабелей за счет переброски ТБО из одного штабеля в другой, расположенный параллельно на площадке штабелей. Таким образом, все части штабеля оказываются в одинаковых условиях. Перелопачивание ТБО и переброска из одного штабеля в другой не только обеспечивают аэрацию, необходимую для аэробного процесса, но и предотвращают перегрев ТБО более 70⁰С.

Как показывает опыт, оптимальной является высота штабеля 1,5-2 м. При меньшей высоте происходят значительные потери тепла и в штабеле нельзя поддерживать температуру, подходящую для термофильных микроорганизмов. Кроме того, из-за большой потери влаги, особенно по краям штабеля, замедляются процессы образования компоста. При высоте более 2 м ТБО будут сжаты собственной массой, уменьшится величина пор и возникнут условия для анаэробного процесса.

Ширина штабеля у основания обычно диктуется вылетом стрелы грейферного автокрана, а заложение откосов чаще всего принимается равным 45⁰.

Перемешивание ТБО в штабелях необходимо не только для аэрации, но и для предотвращения очагов анаэробного разложения. Частота перемешивания в большой степени зависит от содержания влаги. Если первоначальное содержание влаги менее 70% , то первое перемешивание должно быть выполнено на третьи сутки, затем перемешивание (переброс из штабеля в штабель) нужно выполнять в следующем порядке:

- при содержании влаги от 60 до 70%: перемешивание должно быть выполнено пять раз с двухсуточным интервалом;
- при содержании влаги от 60 до 40 % перемешивание должно быть выполнено четыре раза с трехсуточным интервалом;
- при содержании влаги менее 40% необходимо дополнительное орошение ТБО в штабеле;
- при содержании влаги более 70% необходимо ежедневное перемешивание.

Для борьбы с выплодом мух поверхность штабелей должна быть прикрыта слоем готового компоста толщиной 0,2 м.

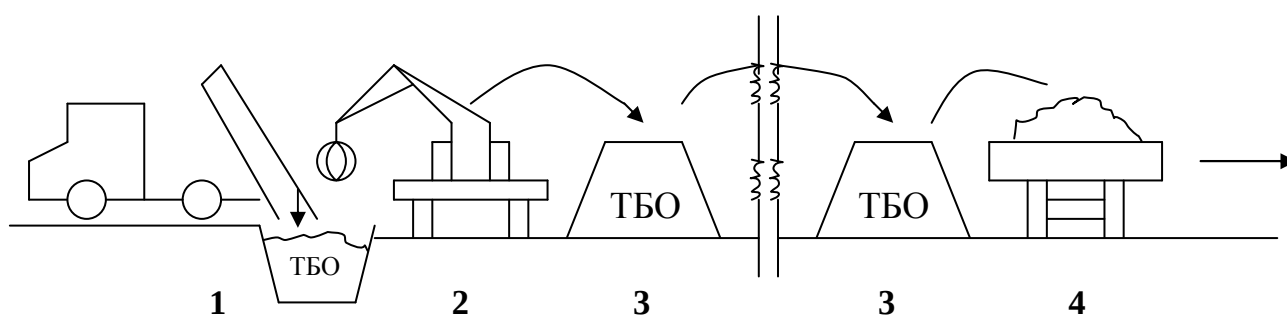
Появление на площадке штабелирования ТБО гнилостных запахов свидетельствует о развитии в штабелях анаэробных процессов, для прекращения которых требуется дополнительное перемешивание.

Представленная на рис.1.1 технологическая схема полевого компостирования может иметь ряд модификаций: например, процессы сепарации вынесены в голову процесса. В районах с большими осадками целесообразно проводить аэробный процесс компостирования в специальном здании с крышей (защита от дождя и снега), разделенном на ряд коридоров – закров, ширина которых позволяет проезжать автомобилю с грейферным краном и перегружать ТБО из одного закрома в другой.

После завершения термофильной стадии компост складывают в штабели дозревания под открытым небом. При использовании сооружений с навесами целесообразно сепарацию ТБО вынести в голову технологического процесса и для ускорения термофильного режима подвергать сепарированные ТБО дроблению.

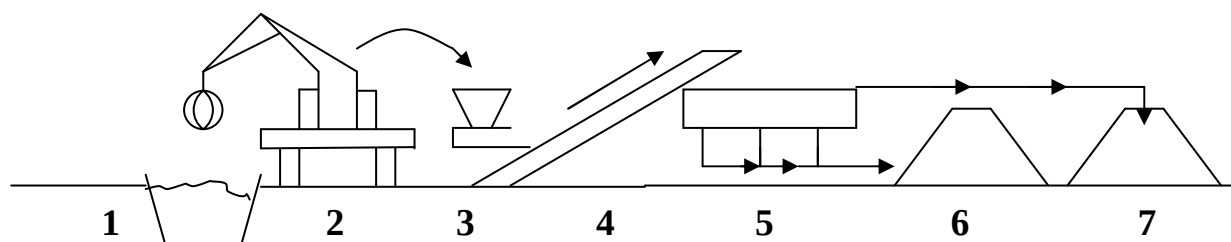
В связи с сезонностью внесения компоста в почву площадки хранения компоста должны иметь соответствующие резервы.

1. Площадка штабелирования ТБО



1 – траншея для приема ТБО; 2 – автомобильный грейферный кран для формирования штабелей ТБО; 3 – штабели, где осуществляется компостирование ТБО; 4 – автосамосвал для удаления компоста к узлу обогащения.

I. Узел обогащения компоста



1 – приемный бункер узла обогащения компоста; 2 – автомобильный грейферный кран; 3 – бункер с дозирующим питателем; 4 – ленточный транспортер; 5 – сепараторы для обогащения компоста (удаление металла, камней, крупногабаритных включений, текстиля, упаковок и т.д.); 6 – полигон для некомпостируемых ТБО; 7 – площадка для хранения и дозревания обогащенного компоста.

Рис. 1.1 – Технологическая схема полевого компостирования ТБО

1.5.2. Компостирование ТБО на мусороперерабатывающих заводах

Для городов с большим количеством населения или для районов, объединяющих ряд небольших городов и сел, целесообразно создавать мусороперерабатывающие заводы (далее МПЗ).

Основная задача МПЗ – обеззараживание ТБО и их переработка с выделением всех некомпостируемых включений для дальнейшей утилизации, сжигания или складирования на полигонах. В связи с этим целесообразно создавать МПЗ в комплексе с полигонами не утилизируемого ТБО и мусоро-сжигательными заводами. Для обеззараживания ТБО используют механические аппараты (биобарабаны) с целью ускоренного достижения термофильной стадии аэробного процесса, когда гибнут патогенные микроорганизмы.

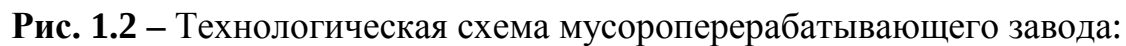
Принципиальная технологическая схема МПЗ приведена на рис. 1.2.

Переработка ТБО на МПЗ включает следующие основные операции.

1.5.2.1. Технологическая подготовка ТБО

Прибывшие на МПЗ мусоровозы взвешивают и направляют в приемное отделение, представляющее собой закрытое помещение, оборудованное:

- воротами с резиновыми уплотнителями для защиты окружающей среды от пыли, мух, крыс и запахов; после разгрузки мусоровоза ворота закрываются;
- приемными бункерами (два – три рабочих, один резервный) для обеспечения непрерывной подачи ТБО в дальнейшие технологические процессы при неравномерной разгрузке мусоровозов;



29

мостовым краном с грейфером, обеспечивающим перегрузку ТБО из бункера в бункер, а также удаление негабаритных включений из бункеров;

- системами пожаротушения и освещения;
- системой влажного пылеподавления и водопроводом для мойки и дезинфекции бункеров;
- системой принудительной вытяжной вентиляции, обеспечивающей отрицательное давление в приемном отделении и подачу воздуха из приемного отделения в биобарабаны;
- рамами или постами подъездов, обеспечивающими безопасную разгрузку мусоровозов;
- системой непрерывного удаления ТБО из рабочих бункеров (пластинчатые питатели, установленные в днище бункеров), обеспечивающие непрерывность подачи ТБО и дозировку;
- системой отделения крупногабаритных фракций, не поддающихся компостированию (изделия размером более 400 мм из дерева, картона, пластмассы, ветки, текстиль и металлолом). Крупногабаритные фракции ТБО после сепарации на грохотах и извлечения черных металлов удаляют на полигон или мусоросжигательный завод, так как большая часть крупных фракций представлена изделиями из дерева, картона и текстиля.

1.5.2.2. Обеззараживание ТБО в биотермических барабанах

После сепарации ТБО подают во вращающиеся биотермические барабаны (диаметр > 4 м, длина - 40-60 м), где в течение 2-3 дней происходит их обеззараживание. Температура в барабане достигает 60-75°C, что обеспечивает обеззараживание обрабатываемых отходов путем уничтожения патогенной микрофлоры. Ускоренный биотермический процесс на начальной стадии компостирования осуществляется за счет перемешивания ТБО при вращении барабана (не менее 1000 оборотов в сутки), вдувания воздуха (до 0,8 м³ воздуха на 1 кг ТБО), поддержания оптимальной влажности ТБО (45-60%) и теплоизоляции стенок биобарабана.

Наряду с температурой губительное воздействие на патогенную микрофлору оказывают антибиотики, вырабатываемые мезофильной микрофлорой. Сами ТБО всегда содержат достаточное количество разнообразной микрофлоры, необходимой для биотермических и обеззараживающих процессов.

Обязательным условием обеззараживания ТБО является их выдержка не менее 12 часов при температуре, губительной для патогенной микрофлоры. Этот процесс в зависимости от состава и крупности ТБО регулируется сроком их пребывания в биобарабане, скоростью вращения барабана, объемом вдуваемого воздуха и др.

В биобарабанах за двое – три суток успевают завершиться первая и вторая фазы компостирования, т.е. разогрев ТБО сначала до температуры 30-35 °С мезофильной микрофлорой, а затем до температуры 60-70 °С термофильной микрофлорой, а также, что является главным, ускоренным обеззараживанием ТБО. Третья фаза уже проходит за пределами МПЗ на площадках компостирования. Таким образом, весь процесс дальнейшей механической переработки ТБО на МПЗ производится с обеззараженными ТБО.

После обработки ТБО в биобарабанах изменяется его фракционный состав: фракции менее 20 мм уже составляют 60-70, фракции 20-60 мм – 14-18, фракции 60-300 мм – 1,5-2 и фракции 300-400 мм – 1-2 %, т.е. наблюдается существенное измельчение ТБО. Плотность изменяется от 190-230 кг/м³ в начале биобарабана до 700 кг/м³ после прохождения биобарабана.

1.5.2.3. Контрольная сортировка обеззараженных ТБО

Контрольная сортировка обеззараженных ТБО производится для очистки компоста от крупных фракций, которые не компостируются. Сортировку выполняют на сепараторах (барабанных грохотах) непрерывного действия с постоянной загрузкой и разгрузкой ТБО. Барабанные грохоты имеют диаметр 2 м и более, длину около 4-5 м с отверстиями в цилиндрической поверхности барабана. Код сепарации – размеры отверстий в стенках барабана, через которые просыпаются мелкие фракции ТБО. Крупные фракции, улавливаемые сепаратором, разгружаются в торце сепаратора. Производительность сепаратора

зависит от скорости вращения барабана. Так, при малых скоростях вращения наблюдается перекачивание ТБО без отрыва от внутренней стенки барабана; при больших скоростях происходит «прилипание» ТБО к внутренней стенке барабана за счет центробежных сил. При оптимальной скорости вращения (10-15 об/мин) замечается некоторый подъем компостируемых ТБО, отрыв и падение. В таком режиме достигается максимальная производительность сепаратора. Кроме этого, происходит дробление ТБО, что также имеет немаловажное значение для процесса компостирования.

1.5.2.4. Извлечение черных металлов

Черные металлы извлекают из ТБО в трех узлах технологической линии:

- до биобарабанов, после сепарации, выделяющей самые крупные фракции (крупнее 400 мм), из ТБО извлекается до 50-60% всего металла, попавшего в ТБО; это относительно чистый металл, который легко пакетируется;
- после биобарабанов, после сепараторов, освобождающих компост от крупных включений (250-400 мм), производится улавливание черных металлов из потока «крупных» фракций (крупнее 250 мм);

- после биобарабанов, после сепараторов происходит улавливание черных металлов из потока «мелких» фракций компоста (мельче 250 мм).

На современном уровне развития утилизационных технологий можно извлекать 90-95% черного металла, входящего в морфологический состав ТБО. Черные металлы извлекают из ТБО с помощью подвесных электромагнитов, расположенных над конвейерной линией, перемещающей ТБО. Код сепарации - напряженность магнитного поля. Например, при напряжении 20 кА/м из ТБО извлекаются только пустые жестяные банки, при напряжении 40 кА/м – жестяные банки, частично заполненные водой или грязью, при напряжении 60 кА/м – все полностью заполненные жестяные банки. Извлечение металлов также зависит от скорости продвижения ленты конвейера, высоты размещения электромагнита над лентой и толщины слоя ТБО на ленте.

1.5.2.5. Извлечение цветных металлов

Обычно ТБО содержат до 0,2-0,3% цветных металлов, фракционный состав этих включений – менее 250 мм. Извлечение цветных металлов производится после извлечения черных металлов в потоке обеззараженного ТБО, имеющего фракции менее 250 мм. Для извлечения цветных металлов под лентой конвейера, транспортирующего компост к сепараторам мелкого балласта (стекло, кости, камни, куски пластмассы, обувь и другие включения, прошедшие через ячейку сепаратора 250 мм), устанавливают многофазное индукторное электроустройство, создающее бегущее электромагнитное поле. Это переменное магнитное поле наводит на куски цветных металлов электродвижущую силу, вектор которой направлен перпендикулярно к оси движущейся ленты с ТБО. При прохождении ленты транспортера над сепаратором цветных металлов под действием бегущего электромагнитного поля куски цветных металлов перемещаются к краю ленты транспортера и сбрасываются с нее. Код сепарации – напряженность электромагнитного поля.

1.5.2.6. Извлечение балластных включений

Удаление балласта из компоста возможно двумя способами: баллистическим и пневматическим.

Баллистический способ осуществляется следующим образом. Разгоняют ленту конвейера, на которой лежит компост, и резко изменяют направление ее движения. Компост по инерции летит в том же направлении и сталкивается с отражающей вертикальной стенкой, установленной на пути полета компоста под углом 35-50° к вертикальной плоскости движения. Ударившись о стенку, компост падает в подставленный контейнер. Код

сепарации – упругость составляющих компоста. Дальше всех отскакивают упругие материалы.

Пневматический способ осуществляют следующим образом. В шахту вертикального металлического короба сваливают компост, содержащий балласт. Встречный поток воздуха подхватывает легкие небольшие фракции компоста и уносит их в гидроциклон, где концентрируется обогащаемый материал. Более тяжелые фракции балласта преодолевают сопротивление вертикального воздушного потока и сваливаются в сборный контейнер, установленный у основания вертикальной шахты. Код сепарации при этом способе – скорость витания, т.е. та скорость, при которой воздушный поток способен переносить включения различной крупности. Задавая в батарее таких сепараторов различные скорости витания, можно отбирать балласт различных размеров и веса.

Скорость витания – это та оптимальная скорость, при которой какой-либо компонент ТБО переносится струей воздуха.

1.5.2.7. Извлечение измельченной пластмассовой пленки из компоста

После удаления балласта компост измельчают (размер частиц < 10 мм) и направляют в специальную камеру, где, подхваченный сильной струей воздуха, он подбрасывается вверх и осаждается на горизонтальную ленту конвейера, движущуюся у дна камеры. Первыми падают самые тяжелые фракции, последними – пластинки пластмассовой пленки, раздробленной до размеров менее 1 см^2 . Код сепарации – гидравлическая крупность фракций компоста. В результате на движущейся ленте образуются два слоя: нижний, состоящий из тяжелых фракций компоста, и верхний, имеющий легкие фракции, представленные в основном кусочками пленки. В конце движения конвейерной ленты установлен всасывающий "пылесос", который втягивает легкую пленку. "Тяжелый" компост, избавленный от пленки на 65-70%, сбрасывают в приемные контейнеры и вывозят на площадки в штабеля дозревания. В штабелях завершается его дозревание и компост становится ценным органическим удобрением.

1.6. Анаэробное обеззараживание ТБО на полигонах (санитарная засыпка)

1.6.1. Технология обеззараживания ТБО на полигонах

Данная технология осуществляется путем захоронения ТБО на специальных сооружениях, получивших название *полигонов ТБО*. Обязательным условием эксплуатации полигонов ТБО является ежедневная засыпка складированных ТБО слоем инертного грунта толщиной $0,2 - 0,25$ м.

Этот способ обеззараживания в зарубежной литературе получил название *санитарной засыпки ТБО*.

Полигоны ТБО – это природоохранные сооружения, предназначенные для складирования и длительного хранения ТБО (до 100 и более лет), обеспечивающие в течение этого времени надежную защиту от загрязнения атмосферы, почв, подземных и поверхностных вод, препятствующие распространению патогенных микроорганизмов за пределы площадки складирования, обеспечивающие обеззараживание ТБО в процессе анаэробного сбраживания органики.

Технология обеззараживания ТБО на полигонах заключается в следующем. Мусоровозы, доставляющие ТБО от мест временного хранения в контейнерах или от мусороперегрузочных станций к полигону, разгружаются в строго обозначенных проектом производства работ местах на рабочих картах складирования действующего полигона. Затем разгруженные ТБО разравниваются бульдозером слоями 0,5 м и при необходимости увлажняются (для достижения большей плотности). Послойное уплотнение ТБО осуществляется тремя – четырьмя ходками бульдозера или тяжелого трактора, который получил название компактора. Из отдельных укатанных слоев ТБО формируется суточная карта заполнения полигона толщиной 2,5-3м, на поверхности которой укладывается защитный слой инертного грунта толщиной 0,15-0,2 м.

Биохимические процессы, протекающие в теле заполненного полигона описаны в параграфе 1.6.2 настоящего пособия.

С точки зрения вложения капитальных затрат, а также охраны окружающей природной среды срок активной службы полигонов ТБО (время складирования ТБО в тело полигона) должен быть не менее 15-20 лет.

Срок жизни полигонов, т.е. время, необходимое для полного завершения всех биохимических процессов разложения ТБО, в течение которого могут выделяться и поступать в окружающую среду жидкие и газообразные отходы анаэробного сбраживания органики, превышает столетний рубеж.

Согласно КТМ 204 Украины 013-96 Государственного комитета Украины по жилищно-коммунальному хозяйству «Правила уборки и содержания территорий населенных пунктов Украины», а также КТМ 204 Украины 019-96 «Порядок устройства, содержания и эксплуатации полигонов ТБО», выбор места полигона ТБО должен отвечать следующим обязательным требованиям:

- отвод земельных участков для организации полигонов осуществляется только при согласовании с органами санитарно-эпидемиологической службы;
- территория площадки должна быть доступна действию солнечных лучей и ветра;
- уровень грунтовых вод должен быть не ближе одного метра от основания полигона;

- запрещается размещение полигонов на территориях, где возможны оползни, разломы и имеются подземные воды, пустоты и провалы, а также на территориях вблизи водотоков, водохранилищ и мест водозабора;
- запрещается сжигание ТБО на территории полигона;
- запрещается прием на полигоны ТБО промышленных отходов 1-го и 2-го классов опасности, а также отходов инфекционных отделений и инфекционных больниц;
- объем промышленных отходов 3-го и 4-го классов опасности не должен превышать 25 % емкости полигона;
- запрещается устройство несанкционированных и неконтролируемых полигонов.

Кроме требований, указанных в КТМ 204 Украины 013-96, при выборе места для полигона ТБО необходимо учитывать такие условия.

При выборе площадки полигона ТБО вблизи аэропортов и их взлетно-посадочных полос необходимо учитывать пути суточной миграции птиц от полигона, который является местом кормежки птиц, до мест их гнездования и ночевки.

К полигону должна быть подведена дорога с твердым покрытием.

На площадке полигона не должны находиться выходы родников.

Категорически запрещается использовать под полигоны ТБО акватории рек, озер, прудов, водохранилищ, стариц и болот.

По всему периметру площадки, отведенной для полигона ТБО, должна быть устроена защитная лесополоса шириной не менее 20-50 м.

Как показывает опыт действующих полигонов, а также расчеты рассеивания пыли, сдуваемой с открытых площадок полигонов, концентрация пыли на границе санитарной защитной зоны часто превышает ПДК в два и более раз, что требует специальных мероприятий как для уменьшения пылеобразования (например, полив открытой поверхности ТБО фильтратом или водой), так и для снижения степени воздействия переносимой с открытых площадок полигона пыли на прилегающую территорию (поля, огороды, населенные пункты, расположенные за пределами 500-метровой санитарно-защитной зоны).

Транспирация деревьев и кустарников, растущих в защитной лесополосе вокруг полигона, способствует образованию вертикальных токов воздушных масс, что является эффективной защитой прилегающих к полигону территорий и населенных пунктов от воздействия пыли и неприятных запахов. Создание защитной лесополосы непосредственно вокруг площадки полигона уменьшает силу ветра над полигоном, способствует выносу загрязненных воздушных масс в верхние слои атмосферы, препятствует переносу легких фракций ТБО за пределы лесополосы. Строительство лесополосы должно входить в первый этап первой очереди строительства полигона.

Санитарный разрыв между ближайшей жилой застройкой и полигоном ТБО не должен быть меньше 500 м.

1.6.2. Биохимическая деструкция органики в теле полигона

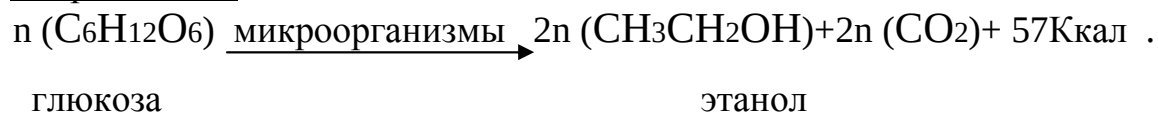
Ежесуточное перекрытие ТБО слоями инертного грунта, с одной стороны, защищает атмосферу от загрязнения, а с другой – прекращает доступ кислорода к ТБО, уложенных в тело полигона. Однако ТБО являются пористым материалом, поэтому запаса воздуха в их порах достаточно, чтобы первое время (до 3 месяцев) в теле полигона протекали аэробные процессы, описанные в параграфе 1.5 настоящего пособия. При этом происходит разогрев тела полигона до температуры 20-40°C и основными продуктами аэробных процессов являются диоксид углерода и вода. Постепенно, по мере использования запасов кислорода в порах ТБО активность аэробных процессов падает и в складываемых ТБО начинают преобладать анаэробные процессы, вызываемые деятельностью анаэробных микроорганизмов. Эти процессы идут медленно и, преимущественно, в пищевых отходах и других органических соединениях. Анаэробные микроорганизмы не используют молекулярный кислород воздуха для окисления органических веществ, а получают необходимую для жизнедеятельности энергию в результате расщепления органических веществ. Эти процессы получили название анаэробного сбраживания. Анаэробное сбраживание – это комплекс биохимических процессов, преобразующих органические соединения ТБО в стабильный продукт. Как биохимический процесс он лимитируется микробными популяциями и факторами внешней среды и условно может быть разделен на несколько стадий. Теоретически анаэробные биохимические реакции, протекающие в теле полигона ТБО при отсутствии кислорода, можно представить в следующем виде:

Первая стадия



На первой стадии путем биохимического расщепления (гидролиза) высокомолекулярные соединения разлагаются на низкомолекулярные.

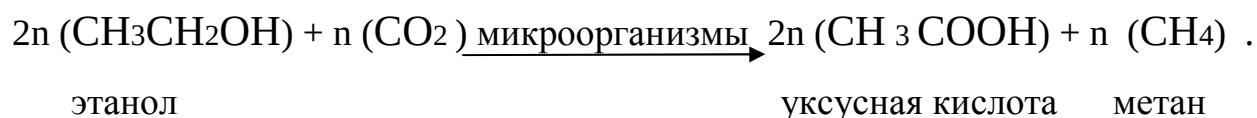
Вторая стадия



Сбраживание без доступа кислорода приводит к образованию этанола, диоксида углерода и выделению небольшого количества тепла (в 12 раз меньше, чем при аэробном процессе). Поэтому в отличие от быстрого обеззараживания

при аэробном процессе процесс обеззараживания ТБО при анаэробном сбраживании довольно медленный и требует больших затрат времени.

Третья стадия



На третьей стадии при участии микроорганизмов происходит дальнейшее разложение органики с получением органических кислот и их солей, а также небольшого количества метана (CH_4). В реальных условиях разложения рядовых ТБО в небольших количествах также образуются: сероводород (H_2S), аммиак (NH_3), водород (H_2) и другие микрогазы.

Четвертая стадия



Четвертая стадия имеет название метанового брожения, при котором органика преобразуется в (CH_4) и (CO_2), а из свободных (CO_2) (H_2) также образуется метан. Метанообразующие бактерии могут существовать только в анаэробных условиях, для их воспроизводства необходимо больше времени, чем для кислотообразующих бактерий. Скорость анаэробного сбраживания зависит от метаболической активности метановых бактерий, которая, в свою очередь, зависит от:

- температуры (оптимум при $t = 33-54^\circ \text{C}$);
- отношения C/N (оптимум в диапазоне 10-16);
- величины pH (оптимум около 6,5) и других внешних условий, например, наличия в ТБО солей тяжелых металлов, аммиака, нитратов, сульфатов, антибиотиков и др.

При отклонении от указанных выше оптимальных условий увеличивается образование летучих кислот и уменьшается выход метана.

1.6.3. Состав и утилизация биогаза

Как видно из параграфа 1.6.2, основным источником отрицательного воздействия на окружающую среду является выделяющийся из толщи заскладированного ТБО газ. Анализы показали, что газ полигонов ТБО аналогичен газу, полученному при гниении органических веществ в сельскохозяйственных установках биогаза. Поэтому газ полигонов ТБО относится к группе биогазов, т.е. газов, образующихся за счет разложения микроорганизмами органических веществ в анаэробных условиях. В литературе биогаз полигонов ТБО часто называют свалочным газом.

На основании многочисленных исследований установлено, что основными компонентами свалочного газа являются метан (44 – 66%) и

диоксид углерода (33 – 55%). Кроме них, в нем в небольших количествах могут находиться водород (0,5 – 3 %), сероводород (0,2 – 0,6 %), азот (1,5 – 2 %), пары воды (до 60 г/м³) и множество микрогазов.

Перечень возможных попутных микрогазов приведен в табл. 1.10.

Биогаз полигонов ТБО содержит ряд газов, обладающих вредными для здоровья человека свойствами. В зависимости от уровня его эмиссии в атмосферу и степени его разбавления воздухом свалочный газ может оказывать токсические воздействия на все виды живых организмов.

Таблица 1.10 – **Возможные попутные микрогазы в свалочном газе,**
мг/м³

Химическое соединение	Формула	Пределы содержания
Этан	C ₂ H ₆	0.8 – 48
Этилен	C ₂ H ₄	0.7- 31
Пропан	C ₃ H ₈	1.4 – 13
Пропен (пропилен)	C ₃ H ₆	0.04 – 10
Бутан	C ₄ H ₁₀	0.03 – 23
Бутен (бутилен)	C ₄ H ₈	1 – 21
Пентан	C ₅ H ₁₂	0 – 12
2 – метилпентан	C ₆ H ₁₄	0.02 – 1.5
3 – метилпентан	C ₆ H ₁₄	0.02 – 1.5
Гексан	C ₆ H ₁₄	3 – 18
Циклогексан	C ₆ H ₁₀	0.03– 11
2 – метилгексан	C ₆ H ₁₆	0.04– 16
3 – метилгексан	C ₆ H ₂₀	0.04 – 13
Циклогексен	C ₆ H ₁₀	2 – 6
Гептан	C ₇ H ₁₆	3 – 8
2 – метилгептан	C ₈ H ₁₈	0.05– 2.5
3 – метилгептан	C ₈ H ₁₈	0.05– 2.5
Кумол	C ₉ H ₁₂	0 – 32
Декан	C ₁₀ H ₂₂	0.2– 137
Ундекан	C ₁₁ H ₂₄	7 – 48
Додекан	C ₁₂ H ₂₆	2 – 4
Тридекан	C ₁₃ H ₂₈	0.2 – 1
Бензол	C ₆ H ₆	0.03– 7
Этилбензол	C ₈ H ₁₀	0.5– 236
1, 3, 5 – метилбензол	C ₉ H ₁₂	10 – 25
Толуол	C ₇ H ₈	0.2 – 615
Ксилол	C ₈ H ₁₀	0 – 376
О – ксилол	C ₈ H ₁₀	0.2 – 7
Трихлорфторметан	CCl ₃ F	1 – 84
Дихлордифторметан	CCl ₂ F ₂	4 – 119

Хлортрифторметан	CClF_3	0 – 10
Дихлорметан	CH_2Cl_2	0 – 6
Трихлорметан	CHCl_3	0 – 2
Тетрахлорметан	CCl_4	0 – 0.6
1, 1, 1- трихлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	0.5 – 4
Хлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	0 – 264
Дихлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	0 – 294
Трихлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3$	0 – 182
Тетрахлорэтан	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_4$	0.01– 142
Хлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	0 – 0.2

Так, корневая система растений на поверхности заполненного полигона может подвергаться вредному воздействию свалочного газа, что может приводить к задержке их роста и даже гибели.

Свалочный газ, проникший из тела полигона в атмосферу, может во время штиля накапливаться над поверхностью полигона и затем сноситься ветром к жилым районам, расположенным за пределами 500 – метровой санитарно-защитной зоны.

Микрогазы являются источником неприятных запахов для человека, а некоторые из них даже могут представлять угрозу для здоровья.

Свободные полости в теле полигона, образовавшиеся за счет неравномерного разложения ТБО, могут быть местом скопления биогаза. В этом случае возникает реальная угроза взрыва (смесь метана 7-15% с воздухом взрывоопасна).

Метан и диоксид углерода являются парниковыми газами, что само по себе требует принятия мер к ограничению их эмиссии в атмосферу.

В связи с вышеизложенным для защиты атмосферного воздуха, здоровья людей и предотвращения угрозы взрывов необходимо собирать образовавшийся в теле полигона биогаз, не допуская его проникновения в атмосферу.

При этом возникает вопрос: Сколько биогаза образуется при анаэробном разложении органики ? По различным источникам из одной тонны ТБО, содержащей около 50 % органики, за период ее разложения в анаэробных условиях может образоваться, в зависимости от внешних условий, от 175 до 300 м³ биогаза. Отсюда, исходя из объема уложенных в полигон ТБО, можно прогнозировать количество биогаза, образовавшегося при разложении этих ТБО. Например, полигон, где заскладировано 20 млн.т ТБО, может служить источником получения от $3,5 \cdot 10^9$ до $6,0 \cdot 10^9$ кубометров биогаза. При этом промышленный отбор биогаза можно начинать не ранее чем через два года после складирования, а эти два года необходимо сжигать биогаз в виде факела. По мере складирования ТБО промышленный отбор биогаза будет возрастать и достигнет максимума в момент завершения последнего года активной эксплуатации полигона. В период пассивной жизни полигона (после завершения его заполнения ТБО) дебит биогаза будет постепенно снижаться и

достигнет своего промышленного минимума через 12-15 лет после закрытия полигона. С этого момента в эксплуатацию должен включиться факел для сжигания остаточного количества биогаза.

Поступающий из тела полигона свалочный газ представляет собой низкоэнергетическое топливо, так как, кроме метана, содержит большое количество диоксида углерода (до 50 %).

Для превращения свалочного газа в ценный высококалорийный энергоноситель (метан с примесями не более 1 %) и ценное сырье для многих видов промышленности (углекислота с примесями не более 2 %) требуется его разделение. В настоящее время во многих развитых странах разработаны различные технологии получения из биогаза «чистого» метана (например, для моторного топлива) и «чистого» углекислого газа. Несколько таких технологий созданы в Харьковском национальном научном центре «Харьковский физико-технический институт». Так, в ННЦ ХФТИ создана промышленная установка – модуль, принцип работы которой основан на адсорбционном селективном поглощении углекислого газа из биогазовой смеси комбинированными адсорбентами типа алюмосиликатов. Такой модуль может служить базовым элементом для сборки установок любой производительности. Две параллельные переменнo работающие линии установки обеспечивают непрерывность ее эксплуатации.

Активная защита атмосферного воздуха от загрязнения свалочным газом осуществляется путем устройства вертикальных газосборных скважин (2 – 3 скважины на один гектар). Все скважины объединены между собой в одну общую систему горизонтальными газоотводящими трубами, подведенными к вентиляторной газооткачивающей установке. Выкачиваемый из тела полигона газ подается в газгольдер, далее на установку сепарации биогаза и затем на установку по подготовке газов для промышленного использования.

Систему сбора и переработки газа следует относить к первой очереди эксплуатации полигона, так как значительный объем газа (до 40 %) образуется именно в активный период эксплуатации.

Пассивная защита атмосферного воздуха от загрязнения свалочным газом осуществляется путем устройства специального рекультивационного экрана на заполненных участках полигона. Согласно нормам стран Европейского Союза рекультивационный экран заполненных участков полигона ТБО должен содержать следующие обязательные слои:

- верхний растительный слой с толщиной растительного грунта не менее 1м;
- дренажный песчаный слой, расположенный под растительным грунтом, толщиной не менее 0,5м;
- экранирующий слой, расположенный под дренажным слоем, препятствующий проникновению свалочного газа в атмосферу; таким экраном может быть полиэтиленовая пленка или слой укатанной глины или суглинка толщиной не менее 0,5 м;
- нижний дренажный слой, имеющий название «газового дренажа», предназначенный для перехвата свалочного газа из отложений ТБО.

Рекультивируемые поверхности полигона ТБО должны быть засеяны семенами многолетних трав, а также засажены соответствующими ландшафту и климатической зоне кустарниками и деревьями. Выращивание плодовых культур, ягод, фруктов и овощей на рекультивируемом слое не рекомендуется.

Наиболее рационально использовать рекультивированную поверхность полигона для посева технических культур, например, рапса.

Рапс – травянистое растение семейства крестоцветных с желтыми цветочками. Из семян рапса издавна добывают масло для пищевых и технических целей (смазки, освещения, мыловарения). При этом рапс является чемпионом среди масличных культур: из его семян можно получить масла больше, чем из подсолнечника. В последние десятилетия в Европе из-за перепроизводства сельхозпродукции появилось много пустующих залежных земель. Здесь стали сеять рапс. Из урожая одного гектара рапса можно изготовить одну тонну дизельного горючего, которое получило название диэстера. Диэстер – это сложное слово, где первый слог «ди» взят от слова дизель, а «эстер» – химический термин, сложный эфир, образующийся в результате соединения кислот со спиртами. В Австрии, Франции и других странах Европы работают заводы, перерабатывающие рапсовое масло в диэстер. Грузовые автомобили, работающие на диэстере, исколесили сотни миллионов километров по дорогам Европы. Но целевое назначение диэстера – городские автобусы. Известно, что дизельный двигатель был бы экологически чище, чем карбюраторный, если бы не сажа. А дизели, работающие на диэстере, на 50 % и более снижают выбросы сажи. Кроме этого, рапсовое масло – возобновляемый источник для получения горючего. Рапс сеют в начале сентября, к зиме его всходы уже полностью покрывают почву, предохраняя ее от нитратов, которые несут с собой осенние кислотные дожди, усиливающиеся в это время года. Убирают рапс в июле и до начала страды. Таким образом, сколько выделяется CO_2 при сжигании диэстера в двигателе, столько же поглощается при выращивании рапса. Высокие технологии переработки рапсового масла позволяют достигнуть стоимости диэстера, соизмеримой со стоимостью дизельного горючего, полученного из нефти.

Конструкция полигона ТБО, соответствующая нормам стран Европейского Союза, приведена на рис.1.3.

1.6.4. Образование и состав фильтрата

Вторым видом отходов, образующихся при использовании анаэробной технологии обеззараживания ТБО на полигонах, является фильтрат.

Фильтрат – это жидкая составляющая ТБО, которая образуется на всех этапах его движения от мусорного ведра в квартире до полигона ТБО включительно.

Источниками образования фильтрата в теле полигона являются:

- влажность отдельных элементов, входящих в состав ТБО (пищевые отходы, картон, бумага, текстиль, дерево и др.); все перечисленные ингредиенты

образуют общую влажность ТБО, колеблющуюся в самых широких пределах и равную в среднем 40 – 60% . При сжатии слоев ТБО в теле полигона влага отжимается и образуется фильтрат;

- атмосферная влага, попавшая на поверхность ТБО при их временном хранении в контейнерах, не оборудованных крышками;
- влага, образующаяся в результате биохимических процессов в теле полигонов ТБО;
- увлажнение ТБО при их послойном уплотнении бульдозерами или компакторами на рабочих картах складирования на полигонах;
- атмосферные осадки в виде дождя, снега, выпавшие на поверхность открытых рабочих карт;
- ежегодные атмосферные осадки в виде дождя и снега, выпавшие на поверхность рекультивируемых участков полигона и профильтровавшие через поверхностный слой растительного грунта; особенно велико проникновение атмосферных вод внутрь тела полигона при образовании на рекультивируемой поверхности местных бессточных зон.

В результате перечисленных выше факторов, а также за счет различных биохимических и химических реакций в аэробных и анаэробных условиях и физических процессов (конденсация, выщелачивание, фильтрация, растворение и др.) в теле ТБО, уложенных на полигоне, образуется жидкий продукт, получивший название *фильтрата*.

Количество фильтрата, образующегося в теле полигона, зависит от целого ряда факторов:

- способа сбора ТБО (селективный или валовый) и степени их утилизации;
- исходной влажности ТБО;
- оборудования контейнеров временного хранения ТБО крышками;
- применения метода глубокого прессования ТБО в тюки с плотностью $1 - 1,2 \text{ т/м}^3$;
- эффективности защитных инженерных мероприятий, препятствующих проникновению атмосферных осадков в тело полигона (оптимальное деление всего объема полигона на этапы и очереди эксплуатационной отработки); своевременная поэтапная рекультивация поверхности отработанных участков; планировка рекультивируемой поверхности с максимальным отводом поверхностного стока в кратчайшие сроки за пределы тела полигона; создание экрана ниже растительного слоя, препятствующего инфильтрации атмосферных осадков в тело полигона);
- применения уплотняющих строительных механизмов (обычные бульдозеры или компакторы);
- эффективности экранов, препятствующих проникновению фильтрата в грунт через дно и борта полигона.

Химический состав фильтрата во многом зависит от морфологического состава ТБО, времени нахождения их в теле полигона или свалки, степени проникновения атмосферных осадков в тело полигона, степени прессования ТБО в кузове мусоровоза или мусороперегрузочной станции и др.

Кроме веществ, которые образуются при анаэробном брожении органической составляющей ТБО, содержащиеся в них растворимые вещества переходят в раствор, образуя в ряде случаев новые соединения с новыми свойствами. Чем выше процент содержания органических веществ и чем больше водорастворимых солей в составе ТБО, тем больше загрязняющих веществ будет в фильтрате.

Фильтрат представляет собой жидкость от желто-коричневого до серо-черного цвета, со специфическим затхлым и сероводородным запахом. Фильтрат нельзя отнести к истинным растворам, он представляет собой гетерогенную систему и имеет характер коллоидного и суспензионного раствора с взвесью, не оседающей в течение длительного времени. По своему составу фильтрат является концентрированными и высокоминерализованными сточными водами, сильно загрязненными трудноокисляемыми органическими веществами, ПАВ, фосфатами и солями тяжелых металлов. Например, в фильтрате полигона ТБО г. Воронежа идентифицировано 60 органических соединений, среди которых наибольшие концентрации (от 100 до 900 мг/л) характерны для циклогексановой, метилбензойной, диметилбензойной, валериановой, бензойной, пропановой, метилбутановой кислот и фенола. Такие большие количества органических кислот создают достаточные условия для существования всех металлов, способных к комплексообразованию с органическими кислотами в формах разнозарядных комплексных соединений. Вероятно, преимущественной формой присутствия бериллия, магния, кальция, стронция, бария и хрома являются катионные комплексы, а меди, кадмия, ртути свинца, таллия и иттрия – анионные; для лития, алюминия, титанила, ванадила, марганца, железа, никеля, кобальта, цинка, цирконила и серебра – нейтральные комплексные соединения.

Показатели БПК₅ и ХПК фильтрата в десятки раз могут превышать эти показатели для обычных сточных вод хозяйственной канализации. Как показали обследования действующих емкостей (см. рис. 1.3), где накапливается фильтрат, вытекающий из тела полигона, на берегах прудов-накопителей у уреза накапливаемой жидкости отсутствует как водная, так и береговая растительность.

Высокая степень засоления фильтрата, наличие различных трудно разлагаемых органических соединений и солей тяжелых металлов являются причиной гипертоксичности фильтрата для живых организмов. Сброс фильтрата в водоемы общего пользования абсолютно недопустим.

Сильно загрязненный фильтрат полигонов и свалок не является благоприятной средой для развития микроорганизмов. Результаты микробиологических исследований не выявили санитарно-эпидемиологическую опасность фильтрата. В то же время большие значения показателей ХПК и БПК₅ свидетельствуют о высокой степени загрязнения фильтрата органическими веществами, которые при благоприятных условиях могут выступать питательной средой для патогенной микрофлоры и привести к ее массовому развитию.

В качестве иллюстрации к изложенному выше в табл. 1.11 приведены химические составы фильтратов различных полигонов и свалок стран Европы и Америки.

Как показали натурные обследования, на большинстве полигонов и свалок Украины фильтрат, вытекающий из тела полигона, не очищается и стекает в ближайшие водотоки. На некоторых полигонах фильтрат собирают в специально созданные пруды-накопители. Часто дно таких прудов бывает врезанным в водопроницаемые пласты. В таких случаях пруд-накопитель фильтрата работает как поглощающий колодец. Примером такого решения является старый закрытый восемь лет назад Роганский полигон г. Харькова, где второй пруд-накопитель фильтрата врезан в песчаные слои и за счет инфильтрации через дно никогда не переполняется (см. рис. 1.3.)



Рис. 1.3 – Каскад прудов-накопителей фильтрата в нижнем бьефе плотины старой Роганской свалки г. Харькова (свалка закрыта в 1995г., фото 2003 г.)

На рисунке видно, как фильтрат, вытекая из тела свалки, собирается в верхнем пруду-накопителе, дно которого сложено малопроницаемыми суглинками; пруд переполнен и фильтрат через гребень плотины переливается в нижний пруд, дно которого врезано в пески и нижний пруд работает как поглощающий колодец.

Таблица 1.11 – Химический состав фильтратов различных полигонов и свалок

Показатели	США		Германия			Россия			Украина			Среднее значение
	Натурн.	Эксп.	Количество свалок	Среднее значение	Диапазон показателей	Москва (Зюзино)	Воронеж	Орел	Киев (Пирогово)	Харьков (Дергачи)	Харьков (Рогань)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
рН	8,5		35	7,6	5,9-11,6	6,6-7,7	8,45	–	8,6-9,1	10,5	8,1-8	
ХПК, мг/л	–	–	35	2320	50-35000	150-700	1350	20000	7000-13000	700,0	3268	150-20000
БПК ₅ , мг/л	–	12700	2	795	41-15000	1500-4800	74,0	13300	520-800	–	1483	74-13300
Электропроводность	–	–	37	12200	2110-183000	–	–	–	–	–	–	
Хлориды, мг/л	100-2400	1100	34	1678	36-126300	650-2900	465,0	3480	8697-8875	3533,0	7834	465-8875
Сульфаты, мг/л	25-500	110	32	1266	18-14968	150-480	32,7	–	1050-1500	2400,0	341,5	32,7-2400
Аммиак, мг/л	–	–	33	236	5-6036	–	–	–	–	–	–	
Нитриты, мг/л	–	–	25	0,1	0,02-131	–	12,5	–	–	5,15	–	5,15-12,5
Нитраты, мг/л	–	–	25	7,7	0,1-14775	–	1860	–	0-38,4	29,0	36,4	29,0-1860
Азот общий, мг/л	20-500	–	14	104	1-2892	–	–	–	2100-6300	–	–	20-500
Фосфор общий мг/л	5-130	–	15	2,9	0,03-52	–	22,7	–	30-50	–	–	22,7
Фториды	–	–	11	6	0,1-50	–	–	–	–	–	–	
Цианиды	–	–	16	0,2	0,007-15	–	–	–	–	–	–	

Продолжение табл. 1.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Легкоосво- бождаемые цианиды, мг/л	–	–	15	0,03	0,0008- 1	–	–	–	–	–	–	
Арсен, мкг/л	–	–	21	34	2-240	–	–	–	–	–	–	
Свинец, мкг/л	–	–	23	68	4,3-650	–	0,19	–	0-0,37	–	–	0,19- 0,37
Кадмий, мкг/л	–	–	26	11,5	0,2- 2000	–	–	–	–	–	–	
Медь, мкг/л	0,1-9	–	25	58	1,3- 8000	–	0,32	–	–	0,32	0,37-6,25	0,32- 6,25
Никель, мкг/л	0,01- 0,8	–	23	388	14,2- 30000	–	0,28	–	0-2,5	–	–	0,01- 0,43
Ртуть, мкг/л	–	–	25	2	0,17-50	–	–	–	–	–	–	
Цинк	1-135	7,5	27	510	20- 27242	–	2,10	–	0,25	–	–	1-7,5
Хром общий, мг/л	–	–	23	0,2	0,009- 300	–	0,29	–	Следы	2,3	–	0,29- 2,3
Железо, мг/л	200- 1700	100,0	21	304	0,38- 2700	100-460	34,0	1120	42-70	34,5	–	34- 1120
Фенол, мг/л	–	–	22	5,2	0,01- 350	–	–	–	–	–	–	
Углеводо- род, мг/л	–	–	16	1,1	0,1-424				–		–	
Галогеноор- ганические соединения, мкг/л			12	6600	44- 292000	–	–	–	–	–	–	

Продолжение табл. 1.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дихлорметан, мкг/л			5	2700	150-36500	–	–	–	–	–	–	
Трихлорметан			6	130	1-710							
Тетрахлорметан			3	–	0,6-30							
1, 2 – дихлорэтан			4	215	4-290							
1, 1, 1-трихлорэтан			2	–	0,4-1000							
1, 1, 2-трихлорэтан			2	–	0,4-1000							
1, 1, 1, 2-тетрахлорэтан			3	–	0,01-775							
Трихлорэтилен, мкг/л			3	–	01-775							
Перхлорэтилен, мкг/л			3	–	1-74,3							
Бикарбонаты	–	–	–	–		–	–	–	–	–	20075,6	
Натрий	–	750,0	–	–	–	–	>50	–	–	–	–	>50-750,0
Калий	–	900,0					>50					>50-900,0
Магний	–	150,0	–	–	–	–	76	–	–	–	219	76-150

Продолжение табл. 1.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Кальций	—	800,0	—	—	—	—	240	—	—	—	200	240-800
Жесткость общая	—	—	—	—	—	—	—	—	65	—	28	
Окисляемость	—	—	—	—	—	—	—	—	32,6	—	5280	
СПАВ	—	—	—	—	—	—	—	—	0-67	0,056	—	0,056-67,0
Орг. углерод, мгс/л	—	—	—	—	—	—	—	—	3960-5400	—	—	3960-5400
Сухой остаток, мг/л	1000-45000	—	—	—	—	7500-15000	9962	—	26400-50120	—	32584	7500-27940
Нефтепродукты, мг/л	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5	—	3,5
Щелочность, мгэкв/л		3900				64-124				100		64-3900
Фосфаты		7,0					6,36		30-50	480,0		6,36-480
Иолены алюминия, мг/л						20,720	530		4750-6300	1335,0		20-6300
Прокаленный остаток, мг/л	—		—	—	—	4200-9000	35,40	—	—	—	—	3540-9000
Натрий + калий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7237	

1.6.5. Сбор и удаление фильтрата за пределы полигона

Для защиты грунтовых и поверхностных вод от загрязнения фильтратом в странах Европы при строительстве новых полигонов предусматривают следующие мероприятия:

- откачку фильтрата из тела полигона с дальнейшим удалением на очистные сооружения;
- создание многослойного экрана по дну и откосам котлована, в котором размещается полигон ТБО.

Согласно нормам стран Европейского Союза, многослойный противofильтрационный экран должен содержать такие обязательные слои:

- нижний слой экрана – послойно укатанная глина толщиной не менее 0,5 м; толщина нижнего слоя, количество прослоек и степень увлажнения укатки каждого прослоя определяются расчетом в зависимости от физико-механических свойств глины, имеющейся в районе строительства, а также от веса строительных механизмов; при отсутствии глины возможна ее замена искусственными противofильтрационными материалами (определяется проектной организацией);
- нижний промежуточный дренаж – выполняется из песчано-гравийной смеси и предназначен для перехвата и отвода фильтрата, проникшего через центральный пленочный экран при его повреждении; в нижнем промежуточном дренаже предусматривается сеть перфорированных труб для отвода фильтрата к приемкам, где установлено насосное оборудование для откачки фильтрата за пределы тела полигона; вся система нижнего промежуточного дренажа и откачки фильтрата является дублирующей и вступает в действие только в аварийных ситуациях при повреждении центрального пленочного экрана; фракционный состав песчано-гравийной смеси определяется расчетом проектной организации в зависимости от исходного карьерного материала;
- центральный слой экрана – выполняется из стабилизированной полиэтиленовой пленки толщиной 2 мм;
- верхний дренажный слой, уложенный на полиэтиленовую пленку, выполняется из песчано-гравийной смеси и предназначен для перехвата и отвода фильтрата к сборным приемкам, где установлено насосное оборудование для откачки фильтрата за пределы полигона; фракционный состав и толщина песчано-гравийного слоя определяются расчетом при проектировании дренажа в зависимости от исходного карьерного материала; дренаж оборудуется перфорированными трубами для отвода фильтрата к сборным приемкам;
- верхний переходной слой, уложенный на поверхность дренажа для его защиты от заиливания; выполняется из искусственных пористых тканей, пропускает жидкость и задерживает взвесь.

Конструкция многослойного экрана, отвечающего нормам стран Европейского Союза, а также схема откачки фильтрата за пределы полигона приведены на рис.1.4.

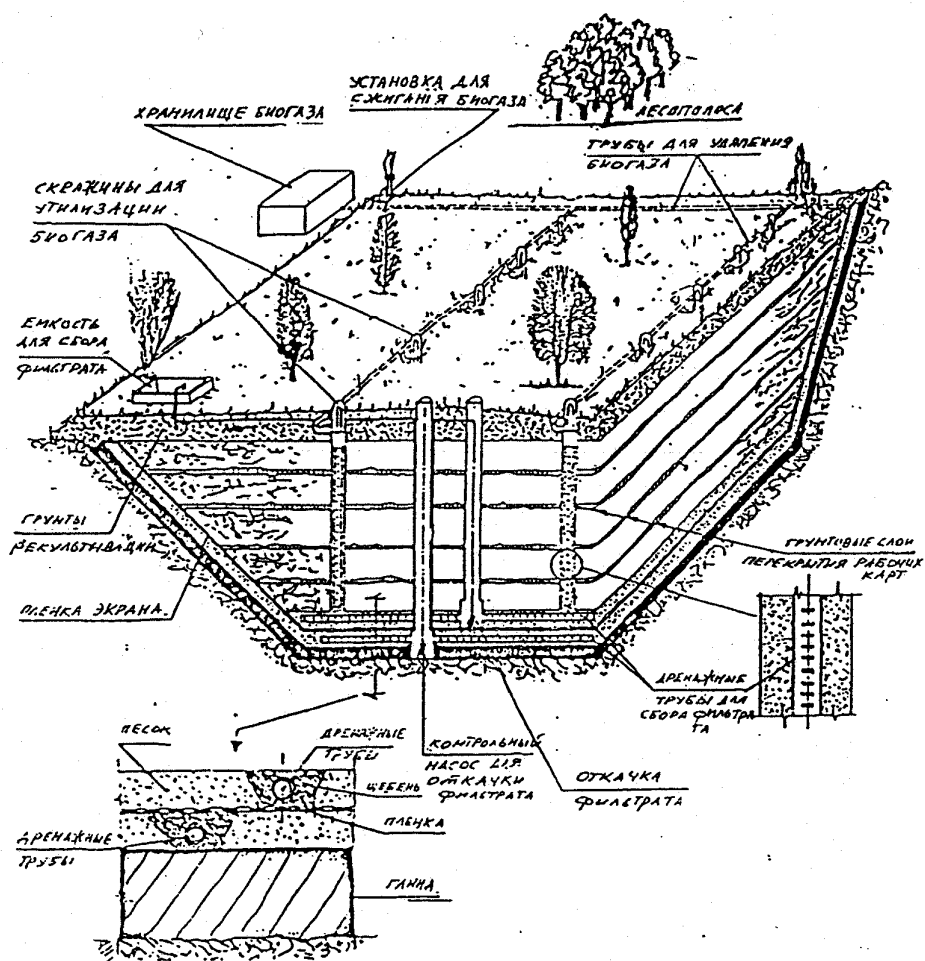


Рис. 1.4 – Схема полигона карьерного и овражного типов

1.6.6. Очистка фильтрата

Анализ показателей загрязненности фильтрата свидетельствует, что диапазон концентраций химических элементов, входящих в состав фильтрата, довольно широкий. Высокая минерализация и большие концентрации хлоридов являются характерными особенностями фильтрата полигонов ТБО, находящихся на стадии длительной эксплуатации.

Содержание хлоридов можно использовать в качестве индикаторов загрязнения природных вод для определения влияния мест захоронения отходов.

Сильно загрязненный фильтрат полигонов ТБО не является благоприятной средой для развития микроорганизмов. В то же время значения показателей ХПК и БПК свидетельствует о высокой степени загрязнения фильтрата органическими веществами, которые при благоприятных условиях могут выступать в качестве питательной среды для болезнетворной микрофлоры и привести к ее массовому развитию. Поэтому очистка фильтрата полигонов ТБО имеет большое значение. Ввиду того, что фильтрат загрязнен и органикой, и солями, назвать какой-то один метод очистки невозможно.

В настоящее время вывоз фильтрата автомобилями – ассенизаторами на городские очистные сооружения является довольно распространенным и применяется в странах СНГ и в Польше. Как показали расчеты, при

производительности очистных сооружений более 200000 м³/сут и ежесуточной подаче фильтрата на такие очистные сооружения в количестве 20 м³ концентрация загрязнений в сточных водах, поступающих на очистку, изменится незначительно и это не скажется на работе очистных сооружений.

В странах Европейского Союза и в США очистку фильтрата полигонов ТБО осуществляют на локальных очистных сооружениях, размещенных вблизи таких полигонов.

На рис. 1.5 приведена схема биологической очистки фильтрата методом Bayer – Turmbiologie.

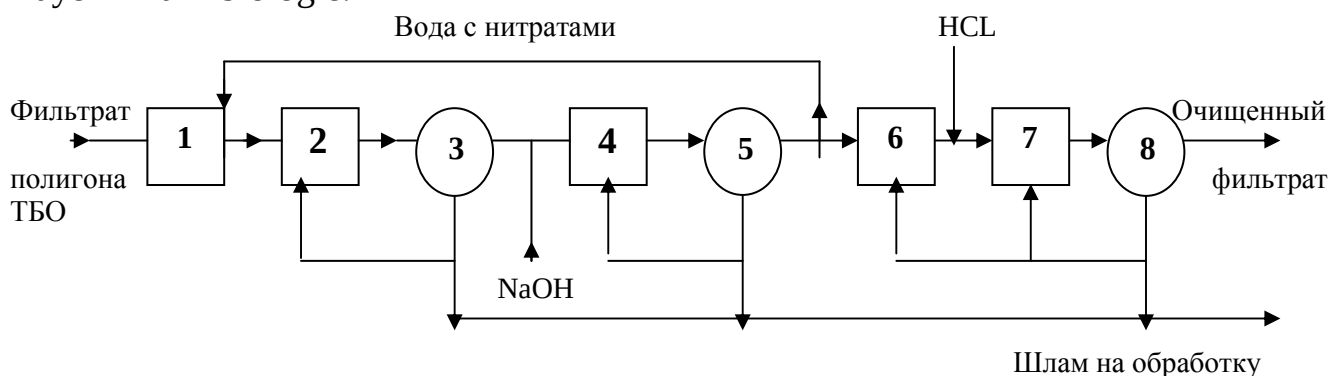


Рис. 1.5 – Схема биологической очистки фильтрата методом Bayer – Turmbiologie:

1 – приемный резервуар; 2 – башенная емкость начальной денитрификации; 3, 5, 8 – отстойники; 4 – башенная емкость начальной нитрификации; 6 – емкость конечной денитрификации; 7 – емкость конечной нитрификации

Такая схема используется при очистке фильтрата с расходом 600 м³/сут на полигоне ТБО в Кельне (Германия). Раньше, до строительства очистных сооружений фильтрата, его вывозили автомобилями – ассенизаторами на городские очистные сооружения Кельна.

Более совершенной схемой очистки фильтрата является схема биологической очистки, подобно вышеприведенной, но с доочисткой методом ультрафильтрации и адсорбцией на активированном угле (рис.1.6).

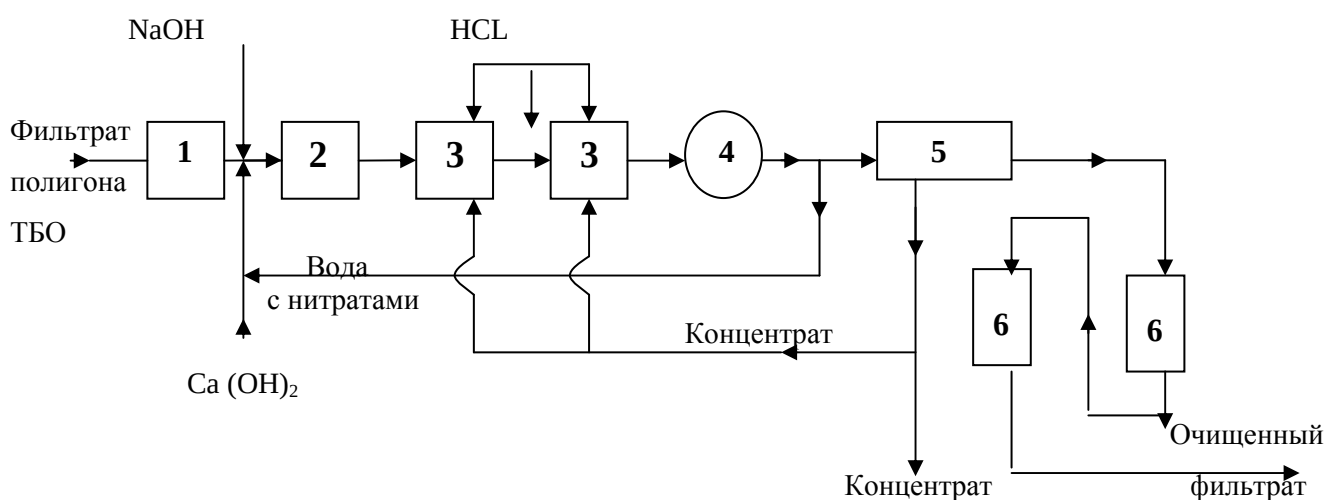


Рис. 1.6 – Схема биологической очистки фильтрата с доочисткой ультрафильтрацией и абсорбцией:

1 – приемный резервуар; 2 – емкость денитрификации; 3 – емкость нитрификации; 4 – отстойник; 5 – ультрафильтрация; 6 – фильтры с активированным углем

Такие сооружения очистки фильтрата производительностью 220 м³/сут были построены в 1994 г. на территории полигона ТБО в Польше. Результаты очистки фильтрата представлены в табл. 1.12.

Таблица 1.12 – Основные показатели работы сооружений очистки фильтрата

Параметры	Ед. измерения	Концентрация	
		на входе	на выходе
БПК ₅	мгО ₂ /л	60	10
ХПК	мгО/л	600	100
NH ₄ -N	мг/л	420	10
NO ₃ -N	мг/л	20	35
NO ₂ -N	мг/л	20	5
Cl ⁻	мг/л	20000	Нет данных
SO ₄ ²⁻	мг/л	1300	- // -

В настоящее время в Германии, Швейцарии и Голландии делают сооружения для очистки фильтрата по схеме, представленной на рис.1.7.

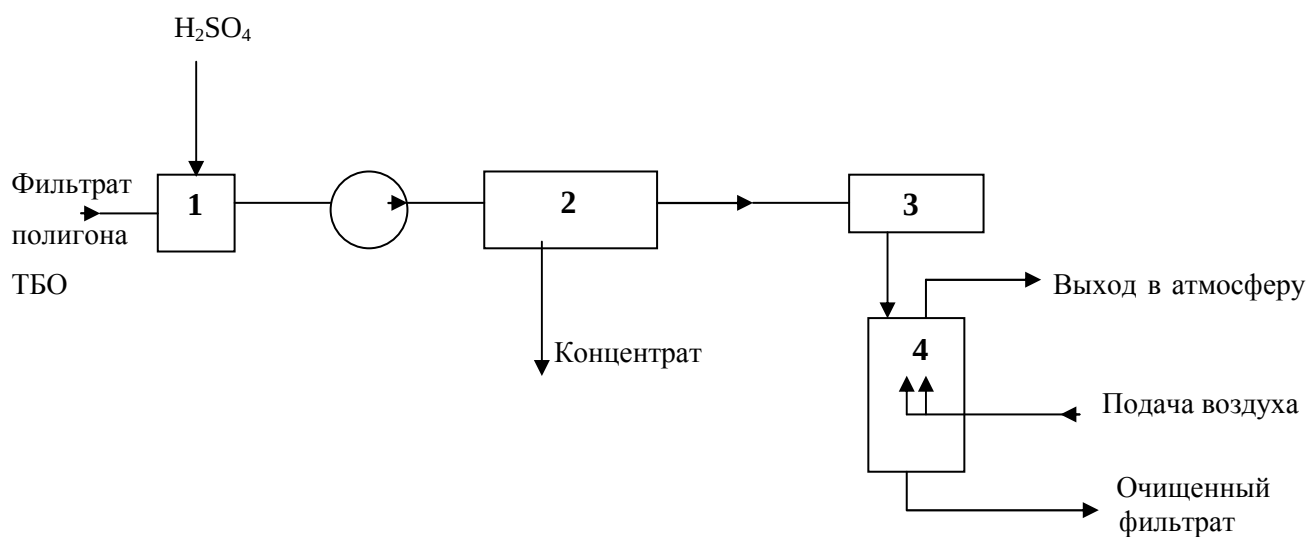


Рис. 1.7 – Схема очистки фильтрата полигонов ТБО методом обратного осмоса:

1 – приемный резервуар; 2 – установка обратного осмоса; 3 – сборник очищенного фильтрата; 4 – дегазатор

Степень очистки фильтрата на таких сооружениях составляет:

БПК₅ – с 2100 до 5 мгО₂/л; ХПК – с 7300 до 15 мгО/л; Cl⁻ – с 3010 до 20 мг/л; NH₄⁺ – с 1300 до 10 мг/л.

1.6.7. Защита поверхностных водных объектов

На площадке, отведенной для многолетнего складирования ТБО, ограниченной по своему периметру лесополосой, кроме емкости собственно полигона, где производится разгрузка мусоровозов, размещается целый ряд различных зданий и сооружений, необходимых для нормальной эксплуатации полигона. К ним относятся административные здания, хозяйственные помещения, подъездные автодороги, ковалеры растительного грунта и грунта экранов, площадки-стоянки автотранспорта и строительных механизмов, площадки мытья колес и др.

Основными загрязнителями окружающей среды на этих территориях являются пыль и просыпь с мусоровозов, проливы масел при эксплуатации и стоянках строительных механизмов, легко переносимые ветром обрывки бумаги и различные пленки. Также источниками загрязнений являются открытые подверженные воздействию ветра поверхности рабочих карт ТБО, движение мусоровозов по площадке, разгрузка ТБО, работа строительных механизмов, их профилактический ремонт, смазка и заправка горючим, площадки сортировки ТБО и др.

В главе 1.4.2 настоящей работы мы уже указывали на высокую загрязненность пыли, сдуваемой с поверхности открытых карт. При этом большая часть пыли и легко переносимых ветром различных обрывков оседают здесь же на территории площадки полигона, ограниченной по периметру лесополосой.

Поэтому атмосферные осадки, выпавшие на территорию полигонного комплекса, подвергаются значительному загрязнению и для защиты поверхностных водотоков и водоемов, куда стекают эти загрязненные воды, целесообразно предусматривать следующие защитные мероприятия.

1. Отвод транзитных поверхностных вод в обход площадки, где расположены сам полигон и подсобные здания и сооружения. Обводные каналы транзитных поверхностных вод должны располагаться по внешнему контуру защитной лесополосы и исключать попадание транзитных поверхностных вод на территорию полигона.
2. Атмосферные воды, выпавшие на территорию площадки полигона внутри защитной лесополосы, должны собираться и отводиться для очистки на специальных очистных сооружениях.

Для очистки загрязненных атмосферных вод, стекающих с площадки полигона, рекомендуется применять низкочастотные методы фитотехнологии, не требующие каких-либо затрат электроэнергии, коагулянтов и других дорогостоящих ресурсов. Такими очистными сооружениями для очистки загрязненного поверхностного стока рекомендуются комплексы сооружений типа биоплато. Принципиальные схемы очистных сооружений типа «биоплато» приведены на рис. 1.8.

Комплекс сооружений «биоплато» состоит из нескольких последовательно расположенных блок-секций.

Первая блок-секция.

Первая блок-секция – это пруд-отстойник, где происходит механическая очистка поверхностного стока (задержание взвеси и плавающих включений).

Эта секция представляет собой земляную или бетонную емкость, оборудованную грубыми решетками или сетками на впуске стоков в пруд-отстойник, пандусами для заезда механизмов и машин, осуществляющих периодическую очистку отстойника, забральными устройствами для задержания плавающих включений перед сбросом осветленной воды в следующие секции.

Размеры и конструкция отстойника определяются расчетом в зависимости от рельефа местности, объема поверхностного стока и его загрязнения.

Вторая блок-секция.

Вторая блок-секция представляет собой инфильтрационный блок или несколько блоков очистных сооружений с фильтрацией очищаемых стоков через специально подготовленную песчано-гравийную или какую-либо другую фильтрующую загрузку (например, керамзитовую и др.).

Инфильтрационные блоки биоплато могут быть двух типов:

- с вертикальной фильтрацией очищаемых стоков через песчано-гравийную загрузку, см. рис. 1.8, а;
- с горизонтальной фильтрацией очищаемых стоков через песчано-гравийную загрузку, см. рис. 1.8, б.

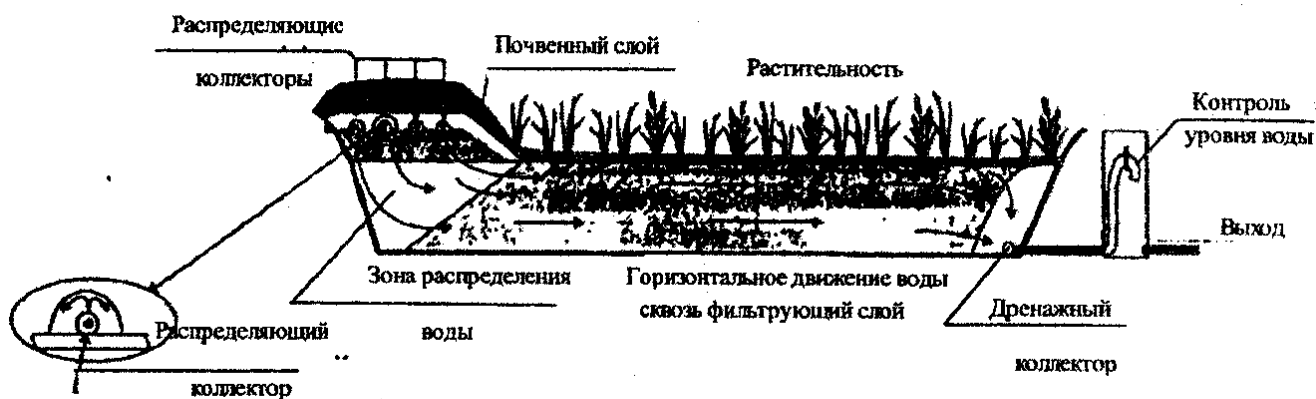
Независимо от типа блока на поверхности инфильтрационной загрузки высаживается высшая водная растительность. В результате в инфильтрационных блоках происходит как механическая, так и биологическая очистка стоков за счет жизнедеятельности микроорганизмов, прикрепленных к поверхности песчано-гравийной загрузки и корневой системы высшей водной растительности.

Тип, размеры, конструкция и количество инфильтрационных блоков определяются расчетом в зависимости от объема поверхностного стока и степени его загрязнения.

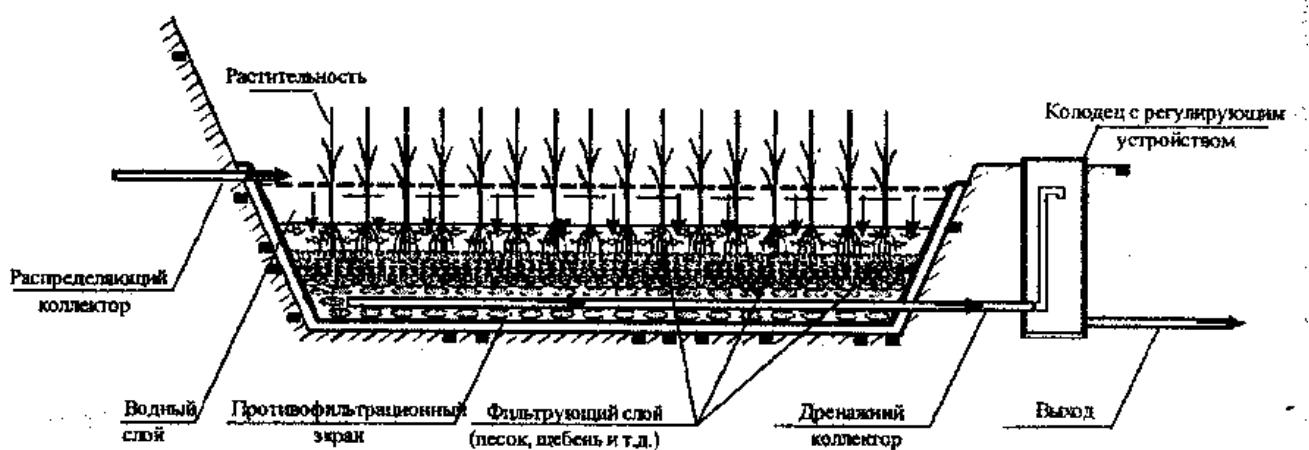
Третья блок-секция.

Третья секция очистных сооружений типа «биоплато» носит название «поверхностного биоплато» и представляет собой одну или несколько земляных емкостей, заполненных растительным грунтом, на поверхности которого высажена высшая водная растительность. Уровень воды в этих блоках поддерживается несколько выше уровня поверхности растительного грунта. Очистка поверхностного стока в этой секции происходит как за счет фильтрации стоков через заросли высшей водной растительности, так и за счет контакта стоков с микроорганизмами на ее стеблях и корневой системе. Количество, размеры и конструкция поверхностного биоплато определяется расчетом.

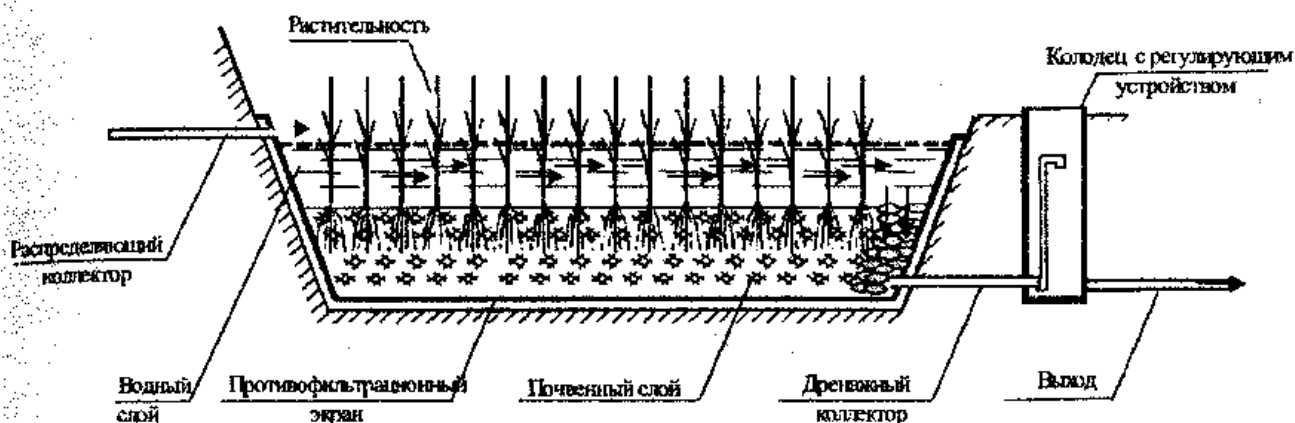
Принципиальная схема третьей блок-секции очистных сооружений «биоплато» приведена на рис. 1.8, в.



а)



б)



в)

Рис. 1.8 – Схемы инфильтрационных биоплато:

а – с горизонтальной фильтрацией; б – с вертикальной фильтрацией; в – схема устройства

Четвертая блок-секция биоплато.

Четвертая (по ходу движения очищаемых стоков) секция носит название «плавающего биоплато». Плавающее биоплато устанавливается в акватории того участка водоема общего пользования, куда сбрасываются поверхностный сток после очистки на предыдущих блоках очистных сооружений.

В месте сброса на поверхности водного зеркала водоема укладывается плавающая сетка, в ячейки которой вживлены ростки высшей водной растительности. Корневая система этих растений находится в слое воды, расположенном между дном и ее поверхностью, а система стеблей, опираясь на плавающую сетку, находится выше уреза воды. Очищаемый поверхностный сток, проходя между корневищами плавающей водной растительности и контактируя с микроорганизмами, которые закреплены на корнях, подвергаются дополнительной очистке.

В заключение необходимо отметить, что оптимальная комбинация блок-секций при привязке сооружений биоплато к конкретным условиям определяется методами матмоделирования.

1.7. Термические методы обеззараживания ТБО

Как указывалось выше, существуют три метода термического обеззараживания ТБО:

- слоевое сжигание неподготовленных ТБО в топках мусоросжигательных котлов или камерное сжигание специально подготовленных ТБО, освобожденных от балластных составляющих и имеющих стабильный фракционный состав, в топках энергетических котлов или в цементных печах при температуре 800 – 1000 °С;
- пиролиз ТБО;
- плавка ТБО в слое расплавленного шлака при температуре 1250 – 1450 °С.

1.7.1. Слоеое или камерное сжигание ТБО при температуре 800 – 1000 °С

Горение ТБО – сложный химический процесс, состоящий из элементарных химических реакций окислительно-восстановительного характера. Окислительно-восстановительные реакции процесса горения ТБО и тепловые эффекты, их сопровождающие, приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.13 – Окислительно-восстановительные реакции процесса горения ТБО и тепловые эффекты, их сопровождающие

Реакция	Тепловые эффекты		
	кДж/кмоль	кДж/кг	кДж/м ³
$C + O_2 = CO_2$	395000	32890	-
$C + 1/2O_2 = 2CO$	110000	9160	-
$C + CO_2 = 2CO$	-175500	-14610	-
$C + 2H_2O = CO + H_2$	-130500	-10860	-
$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2$	-132000	-10990	-
$C + 2H_2 = CH_4$	-74900	-6240	-
$CO + 1/2O_2 = 2CO_2$	225600	-	12750
$H + 1/2O_2 = H_2O(\text{жидкость})$	286220	-	12780
$H + 1/2O_2 = H_2O(\text{пар})$	241800	-	10760
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O(\text{пар})$	801920	-	35800
$CO + H_2O = CO_2 + H_2$	40400	-	1800
$C_2H_4 + 3O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$	1322500	-	59040
$H_2S + 1,5O_2 = H_2O + SO_2$	518110	-	23130
$H_2 + 2Cl = 2HCl$	92500	-	4130
$H_2 + 2F = 2HF$	270000	-	12050

Примечания:

1. Тепловые эффекты с положительным знаком происходят с выделением тепла (экзотермическая реакция), а с минусом – эндотермические.
2. В таблице приведены данные, помещенные в табл. 6.1 справочника «Санитарная очистка и уборка населенных мест» (М., 1990).

Процесс горения в мусоросжигательном котле происходит в слое ТБО на колосниковой решетке или в топочной камере. Интенсивность сжигания на колосниковой решетке (производительность установки) в значительной степени зависит от ее конструкции и свойств отходов. При устройстве топочной камеры мусоросжигательных заводов обычно механизированы три операции: подача ТБО в топку; шуровка (перемешивание) слоя для предотвращения его шлакования и лучшей аэрации; удаление твердых остатков (золы, шлака) после сжигания ТБО.

Температура уходящих газов после топочной камеры составляет 800 – 1000 °С. Для использования тягодутьевых и пылеулавливающих устройств нужно снизить температуру уходящих газов до 250 – 300 °С. На современных мусоросжигательных заводах это условие выполняется путем теплообмена в парогенераторе. Для этого используют котлы-утилизаторы, применение которых позволяет решить три проблемы:

- снизить температуру дымовых газов с 800 – 1000 до 250 – 350 °С;
- предохранить внутреннюю футеровку топочных камер от воздействия высоких температур;
- утилизировать тепло дымовых газов.

Технологическая схема мусоросжигательного завода в г. Харькове с производительностью 720 т/сут сжигаемых ТБО приведена на рис.1.9.

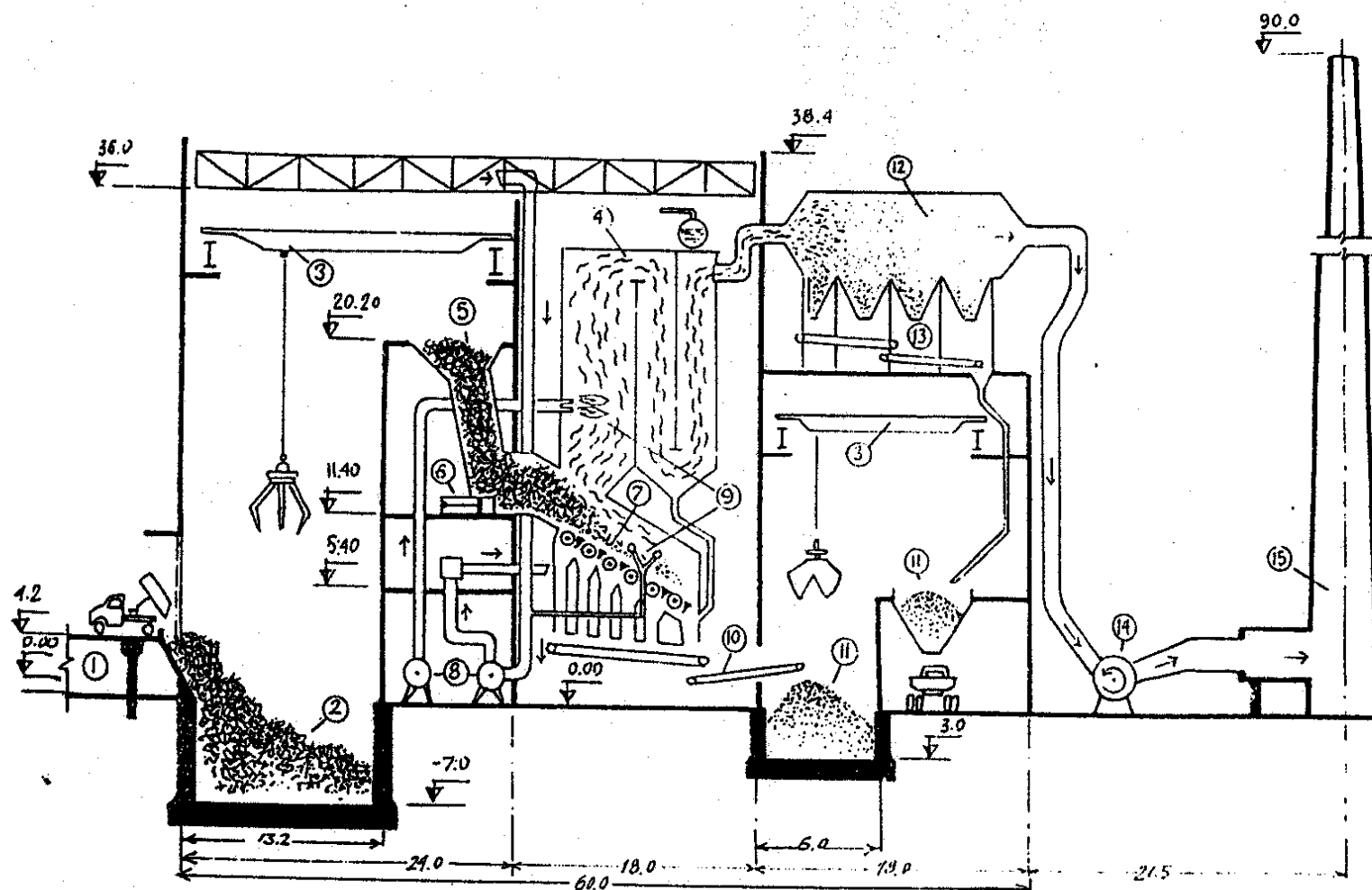


Рис. 1.9 – Технологическая схема Харьковского мусоросжигательного завода:

1 – подъездная эстакада; 2 – бункер-накопитель мусора; 3 – грейферные краны; 4 – котлоагрегат; 5 – загрузочная воронка; 6 – гидравлический толкатель; 7 – валковая решетка; 8 – дутьевые вентиляторы; 9 – газовые горелки; 10 – шлакоудалитель; 11 – бункер шлака; 12 – электрофильтр; 13 – транспортеры золоудаления; 14 – дымосос; 15 – дымовая труба

Основное мусоросжигательное оборудование завода – это топочные устройства с валковыми решетками и дутьевыми установками и паровые котлы. Дополнительным топливом для розжига, стабилизации горения мусора и поддержания параметров пара является газ. Пар используется как для собственных нужд завода, так и близлежащих предприятий.

Отходами мусоросжигания являются золошлаки, зола уноса и топочные газы. Харьковский мусоросжигательный завод был оборудован (в настоящее время завод не работает, рассматривается вопрос о его полной реконструкции) установками для извлечения черных металлов из золошлаковой смеси. Для улавливания золы уноса завод имел электрофильтры. Другими какими-либо устройствами для очистки дымовых газов Харьковский завод оборудован не был. Основными критериями при санитарно-гигиенической оценке состояния атмосферного воздуха при выбросе газов мусоросжигательного завода являются предельно допустимые концентрации (ПДК) в газах вредных веществ. Значения ПДК для некоторых загрязняющих веществ приведены в табл. 1.14.

Учитывая значительное загрязнение атмосферы дымовыми газами мусоросжигательных заводов в странах Европейского Союза, Америке, Японии и других развитых странах, в последнее время резко возросли требования к качеству газовых выбросов в атмосферу.

Таблица 1.14 – Значения ПДК для некоторых загрязняющих веществ, мг/м³

Вещество	Максимальная разовая ПДК	Средне-суточная ПДК	Вещество	Максимальная разовая ПДК	Средне-суточная ПДК
Диоксид азота	0,085	0,04	Оксид углерода	5	3
Аммиак	0,2	0,04	Сероводород	0,008	-
Пыль нетоксичная	0,5	0,15	Фтороводород	0,02	0,005
Сажа(копоть)	0,15	0,05	Бенз(а)пирен	-	0,000001
Сернистый ангидрид	0,5	0,15			

Так, в Европе контролирующие органы требуют проводить очистку дымовых газов в четыре ступени.

Первая ступень – очистка дымовых газов от золы уноса. Ориентировочно усредненный состав золы уноса мусоросжигательных заводов следующий:

частиц менее 5 мкм - 9-22 %;
 частиц от 5 до 10 мкм - 10-16 %;
 частиц от 10 - 20 мкм - 13-25 %;
 частиц от 20 до 30 мкм - 6-14 %;
 частиц более 30 мкм - 31-54 %.

Химический состав золы уноса приведен в табл. 1.15.

Таблица 1.15 – Химический состав золы уноса

Компонент	Образец		
	1	2	3
Оксиды кремния	32,4	40,6	39,8
« алюминия	17,6	19,1	15,2
« железа	32,1	7,3	14,2
« кальция	9,7	17,1	18,6
« магния	1,4	2,2	1,7
« калия	2,2	3,7	2,7
« натрия	0,7	1,2	0,6
Сернистый ангидрид	2,5	5,9	6,6
Прочие	1,4	1,9	0,6

Примечание: В таблице приведены данные, помещенные в табл. 6.13 справочника «Санитарная очистка и уборка населенных мест» (М., 1990).

На мусоросжигательных заводах наибольшее распространение для очистки дымовых газов от золы уноса получили электростатические фильтры, имеющие высокий КПД очистки газов (в идеальных условиях КПД может достигать величины, равной 99,8%).

Вторая ступень – очистка дымовых газов от хлористого водорода. Количество хлористого водорода (HCl) в дымовых газах мусоросжигательных заводов во многом зависит от содержания пластмассы в сжигаемых ТБО. В то же время в последнее десятилетие имеет место значительный рост в составе ТБО различных изделий из пластмассы, в том числе из пластмассы на поливинилхлоридной основе. Учитывая это, в ряде мусоросжигательных заводов Европы для очистки дымовых газов от хлористого водорода используют мокрые скрубберы с дисковыми распылителями и с орошением известковым молоком.

Третья ступень – очистка дымовых газов от мельчайших фракций золы уноса (<5 мкм). Для перехвата фракций менее 5 мкм используют тканевые фильтры рукавной конструкции. В рукавных фильтрах кроме фракций менее 5 мкм задерживаются и более крупные фракции золы уноса, проскочившие через электростатические фильтры первой ступени очистки газов.

Четвертая ступень - очистка дымовых газов от оксидов углерода и азота. Для снижения содержания оксидов азота (NO₂) и оксида углерода в дымовых газах мусоросжигательных заводов применяют методы каталитической очистки. В результате сжигания ТБО образуются твердые остатки в виде золы уноса, золошлаков и включений металлолома. Объем ТБО при сжигании сильно уменьшается, что зависит от состава и плотности ТБО.

Результаты сжигания ТБО при среднем показателе плотности, равном 0,2 т/м³, приведены в табл. 1.16.

**Таблица 1.16 - Средний выход твердых продуктов после сжигания ТБО
с плотностью, равной 0,2 т/м³**

Отходы сжигания	в % по массе	в % по объему
Золошлаки	20 - 15	5
Металлолом	2 – 5	4
Зола уноса	5 – 8	3
Всего	27 - 38	12

В связи с тем, что в золошлаках мусоросжигательных заводов часто встречаются частицы недожога органики, а также содержатся растворимые соли тяжелых металлов и другие токсичные включения, их использование в строительной индустрии не рекомендуется. Золошлаки мусоросжигательных заводов должны удаляться на полигоны ТБО для захоронения или использования для ежедневного перекрытия слоев ТБО на полигонах.

1.7.2. Пиролиз ТБО

Сжигание ТБО связано со следующими трудностями:

- необходима сложная и дорогостоящая система очистки дымовых газов, при этом стоимость сооружений и аппаратов газоочистки составляет 75-85% всех затрат при строительстве мусоросжигательного завода;
- золошлаки после сжигания ТБО содержат недожог, что не позволяет их использовать в строительной индустрии;
- в связи с большим содержанием различных загрязнителей золошлаки требуют такого же захоронения, как и ТБО.

В связи с этим, среди термических способов обеззараживания ТБО, в последнее время отдается предпочтение пиролизу, так как этот способ позволяет не просто обеззаразить и ликвидировать ТБО, но и регенерировать энергию и материалы, превратив ТБО в полезные для человека продукты.

Пиролиз – это термохимический способ переработки ТБО, основанный на разложении веществ, входящих в ТБО, при высокой температуре без доступа воздуха или при его недостатке путем неполного окисления воздухом. При пиролизе ТБО образуются газообразные и жидкие продукты, которые могут быть использованы в качестве топлива или химического сырья. Кроме этого, в результате пиролиза ТБО образуется твердый углистый остаток, получивший название пирокарбоната. Выход указанных продуктов (пирокарбоната, пиролизной смолы и пиролизного газа) зависит от состава ТБО, температурного режима, времени пиролиза, давления и др.

В отношении ТБО под пиролизом понимается не только необратимое химическое изменение под действием тепла в среде, лишенной свободного кислорода, но и газификация, частичное сжигание при ограниченном подводе воздуха, а также сочетание этих процессов. В результате этого пиролиз бытовых отходов приводит к образованию большой гаммы химических соединений.

Образовавшаяся парогазовая смесь представляет собой конечный результат ряда последовательно протекающих реакций, из которых одни уже почти закончились, другие находятся в стадии интенсивного протекания, а третьи только начинаются. Каждая отдельная реакция является лишь одним из звеньев в сложной цепи многочисленных химических реакций, продукты одной реакции служат исходными веществами для последующих.

При пиролизе ТБО в обычных условиях можно выделить, в основном, два типа реакций:

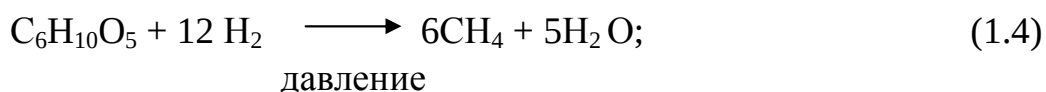
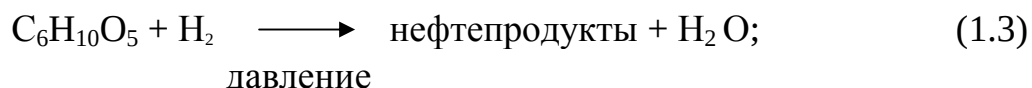
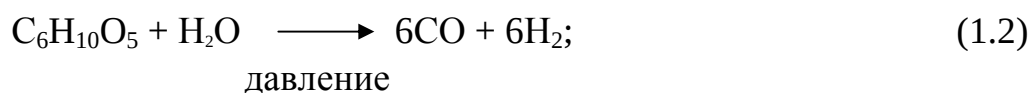
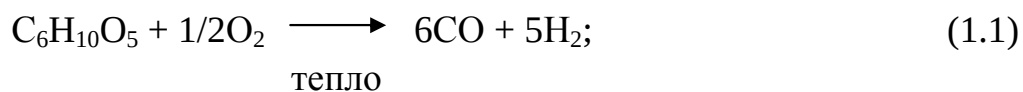
1) термический распад исходного вещества и дальнейшее разложение получающихся промежуточных соединений;

2) конденсация и полимеризация молекул, образовавшихся в результате первичных реакций деструкции исходного сырья.

Органическая часть ТБО состоит, главным образом, из углерода, водорода и кислорода, кроме того, в ней содержатся в небольших количествах азот, сера и другие элементы. Так как соотношение основных элементов в отходах приблизительно то же, что и в целлюлозе, то ТБО можно обозначить как $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Выходящий из пиролизного аппарата продукт является сложной смесью газообразных, жидких и твердых веществ, состав которых зависит от химической природы сырья и физических параметров нагревания.

На выход продуктов пиролиза отходов влияет также применение катализаторов, высокого давления, окислительных агентов (кислород, воздух, вода) или восстановительных агентов (водород, оксид углерода). При этом возможны следующие реакции:



Если в процессе преобладают окислительные реакции (1.1) и (1.2), то в основном будут получаться топливный газ и окисленные жидкие продукты. Гидрогенизационные реакции (1.3) и (1.4) в зависимости от условий могут дать метан или нефтепродукт. Реакция гидроокисления (1.5) также дает пиролитический нефтепродукт. В результате протекания всех перечисленных реакций, кроме названных продуктов, получается углеродистый остаток – пирокарбонат.

Ниже приведены особенности термического разложения различных компонентов ТБО в процессе пиролиза.

Органическая часть ТБО представлена разнообразными материалами как близкими, так и резко отличающимися по своему химическому составу. Такие компоненты, как древесина, текстиль и бумага в основном состоят из целлюлозы (клетчатки). Содержание ее в древесине и текстиле доходит, соответственно, до 60 и 90 %, бумага же почти целиком состоит из целлюлозы. Целлюлоза является высокомолекулярным полисахаридом и может быть представлена эмпирической формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$. Молекулы целлюлозы имеют вид очень длинных цепей, состоящих из большого числа глюкозных остатков, соединенных между собой глюкозными связями. Термическая деструкция целлюлозы проходит в две основные стадии: дегидратация и последующий разрыв связей углерод – кислород в кольцах или между ними.

На выход и состав продуктов термического разложения целлюлозы влияют многие факторы, среди которых, в первую очередь, следует отметить скорость нагревания сырья и конечную температуру процесса. Если температура в реакционном объеме поднимается быстро, то происходят быстрая и полная деструкция молекул целлюлозы. Это приводит к образованию большего количества горючих газообразных продуктов и низкому выходу смолы и твердого остатка. Когда же сырье нагревается медленно, происходит избирательная деструкция связей (первой разрушается самая слабая) и образуются газообразные продукты, состоящие в основном из диоксида углерода, паров воды и углеводного остатка. При промежуточных условиях имеет место высокий выход жидких продуктов сложного химического состава.

В целом следует отметить, что при пиролизе древесины, бумаги и текстиля или твердых отходов, состоящих преимущественно из материалов, содержащих целлюлозу, образуется значительное количество летучих продуктов.

Среди органических компонентов ТБО большое место после целлюлозных материалов занимают кожа и резина. Наличие этих составляющих оказывает существенное влияние на выбор метода промышленной переработки твердых отходов в связи с тем, что выделяющиеся при сжигании рассматриваемых материалов оксиды серы и азота требуют сложной и дорогостоящей системы очистки дымовых газов. Резина представляет собой преимущественно углеводородный материал, причем состав резиновых смесей характеризуется большим разнообразием. Наряду с основными компонентами – каучуками – резиновые смеси содержат и другие соединения: наполнители, среди которых главная роль принадлежит техническому углероду, вулканизирующие вещества, ускорители и активаторы вулканизации, противостарители, умягчители и др.

Ряд ингредиентов смесей не просто физически связан с каучуками, но и образует с ними химические соединения. Так, при вулканизации серой между макромолекулами вулканизата образуются дисульфидные связи, что же касается технического углерода, то даже до вулканизации смесь его с каучуком невозможно разделить с помощью растворителя, что также свидетельствует о наличии химической связи.

Из-за сложности состава резины трудно с достаточной определенностью описать механизм ее термического разложения. Исходя из общих соображений, можно полагать, что выход твердого продукта пиролиза в основном определяется количеством наполнителей и нелетучих неорганических компонентов в исходной резине, а летучие продукты образуются в результате деполимеризации каучуков и термических превращений других органических составляющих.

Несмотря на различия в химической природе содержащих целлюлозу материалов и резины, в процессе их термического разложения наблюдаются некоторые общие закономерности. Как показывают исследования, выделение летучих продуктов из древесины, текстиля и резины в основном завершается при одной и той же температуре – 500°C. Дальнейшее повышение температуры существенного влияния на конечный результат процесса не оказывает. Некоторое увеличение выхода жидких продуктов и газа происходит за счет снижения выхода твердого остатка, который при температуре выше 500 °C подвергается прокалке.

Термическое разложение пластических масс и полимеров, используемых для их производства (в основном, полиэтилена, полипропилена, полистирола и поливинилхлорида), имеет свои характерные особенности. Эти полимеры разлагаются с образованием большого количества летучих продуктов при небольшом выходе или даже полном отсутствии твердого остатка.

Разложение полиэтилена начинается при температуре не ниже 300 °C и протекает с заметной скоростью лишь после нагрева до 360 °C. Летучие продукты, выделяющиеся при температуре 360 – 420 °C, представляют собой сложную смесь углеводородов. Фракции конденсата, летучие при комнатной температуре, составляют около 4 % от общего количества продуктов разложения. Они содержат в основном неразветвленные парафины $C_2 - C_7$ и моноолефины. Основная масса продуктов разложения полиэтилена представляет собой нелетучие при обычной температуре фракции с молекулярной массой около 700.

По составу и выходу продуктов деструкции полипропилен почти аналогичен полиэтилену, но разлагается легче. Различия в скорости термодеструкции этих полиолефинов обусловлены разными значениями энергии активации: 230 кДж/моль для полипропилена и 302 для полиэтилена.

Разложение полистирола начинается при температуре около 290 °C. Установлено, что при нагреве полистирола в вакууме до 420 °C образуются газ и конденсирующиеся продукты. Газ состоит в основном из оксида углерода, получающегося в результате взаимодействия полистирола с кислородом, растворенным в исходном мономере или поглощенным полистиролом при хранении на воздухе. Конденсирующиеся фракции содержат стирол, а также его ди-, три- и тетрамеры. При этом выход мономера составляет около 45 %. Предполагается, что при более высоких температурах и не слишком глубоком вакууме выход

стирола может быть увеличен до 60 – 70 %.

Общим для полиэтилена, полипропилена и полистирола при нагреве до 450—500°C является образование большого количества (>90%) жидких продуктов (выход газа < 6,5 %). При постепенном нагреве и непрерывном удалении из реакционной зоны летучих продуктов все эти полимеры практически полностью разлагаются без образования карбонизованного остатка. В то же время разложение полистирола в автоклаве приводит к появлению около 16 % кокса. Соотношение и состав продуктов термодеструкции полимеров изменяются также в результате повторного пиролиза летучих продуктов при более высокой температуре.

По сравнению с описанными полимерами поливинилхлорид имеет наименьшую термическую стабильность. Если температура полураспада полимера (при нагреве в вакууме в течение 30 мин) составляет для полиэтилена 404, полипропилена — 387, полистирола — 364 °C, то для поливинилхлорида она не превышает 260°C. Термическое разложение поливинилхлорида довольно в широком интервале температур протекает в две стадии: первая соответствует процессу интенсивного дегидрохлорирования, а вторая обусловлена деструкцией углеводородной части полимера. Практически единственным продуктом разложения поливинилхлорида при 250—350°C является хлористый водород, а при температуре выше 400 °C начинается разложение углеводородов. Установлено, что остаток после пиролиза поливинилхлорида при 425°C содержит вещества со средней молекулярной массой 700 – 800; дальнейшее повышение температуры приводит к образованию материала с упорядоченной кристаллической структурой. Газообразные продукты пиролиза представляют собой сложную смесь насыщенных и ненасыщенных углеводородов, состав которых упрощается с повышением температуры. В жидких продуктах преобладают ароматические соединения. В результате термического разложения поливинилхлорида образуются: жидких углеводородов – 24-29, газа – около 6, хлористого водорода – 56-58, карбонизованного остатка – 9-12 % (значительно больше, чем при пиролизе полиолефинов и полистирола).

Метод пиролиза ТБО имеет следующие достоинства:

- безотходная технология, не дающая выбросов в атмосферу твердых или жидких отходов, загрязняющих окружающую среду;
- полное обеззараживание ТБО, разрушение и превращение всех токсичных соединений в горючие или инертные соединения;
- получение горючих газов, возможность их аккумулирования в газгольдерах и передачи по мере необходимости потребителям;
- получение таких полезных продуктов, как пиролизная смола и пирокарбонат, которые могут найти применение в строительной индустрии (различные асфальтобетоны), очистке воды и стоков (сорбенты) и др.

1.7.3. Плавка ТБО в слое расплавленного шлака при температуре 1250-1450 °С

Технология плавки отходов в расплавленном шлаке (сокращенно ПОРШ) позволяет перерабатывать ТБО различного состава и фракций без какой - либо предварительной подготовки. Процесс ведется при температурах 1250-1450⁰С и интенсивном барботаже (продувке) ванны расплава окислительными газовыми струями (печь Ванюкова). Это позволяет перевести в жидкое состояние (в расплав) все составляющие ТБО, в том числе камни, стекло, металлы и другие включения, а также предотвращает образование высокотоксичных органических соединений.

Использование для процесса ПОРШ дутья, обогащенного кислородом (до 40-60%), позволяет вести плавку ТБО без добавки постороннего топлива. Вторичное тепло от охлаждения элементов печи и с охлаждающими газами утилизируется в системе испарительного охлаждения и в котле – утилизаторе с получением пара энергетических показателей.

Минеральная легкая часть расплава (шлак), расположенная в верхней части печи Ванюкова, по своему составу и свойствам пригодна для стройиндустрии (производство шлаковаты, щебня, плиток и др.), а донная металлосодержащая часть является сырьем для металлургических заводов (извлечение в товарный продукт железа, меди, олова, никеля и других ценных продуктов).

Технологическая схема термической переработки ТБО в слое расплавленного шлака приведена на рис. 1.10.

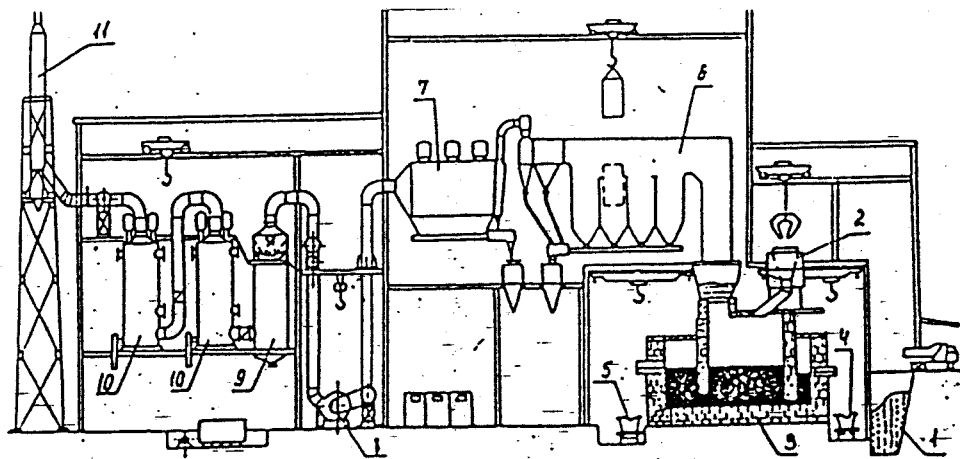


Рис. 1.10 – Технологическая схема термической переработки ТБО в слое расплавленного шлака:

1 – склад сырья; 2 – питатель; 3 – плавильный агрегат (печь Ванюкова); 4 – сплав (тяжелая фаза расплава); 5 – шлак (легкая фаза); 6 – котел-утилизатор; 7 – сухой электрофильтр; 8 – дымосос; 9 – скруббер; 10 – мокрый электрофильтр; 11 – дымовая труба

Для селективной очистки дымовых газов методом ПОРШ предусматривают следующее пылегазоочистное оборудование:

- на первой ступени очистки – сухие электрофильтры;
- на второй ступени очистки – скрубберы;
- на третьей ступени очистки – мокрые электрофильтры.

Все задержанные при очистке дымовых газов зола уноса и шламы направляются в голову процесса, обеспечивая его безотходность. Технология ПОРШ прошла крупномасштабные испытания в специально переоборудованной под переработку ТБО печи Ванюкова на Рязанском опытно- экспериментальном заводе Минцветмета в России и показала высокие экологические качества новой технологии.

1.8. Другие способы обеззараживания ТБО

Кроме указанных выше способов обеззараживания ТБО, существуют и другие, а именно:

- глубокое прессование ТБО с отжатию влаги;
- измельчение части ТБО, не содержащих пищевых отходов, и их капсулирование с отвердителем;
- использование вермикулитов для обеззараживания ТБО.

Эти способы пока не получили на территории Украины распространения, хотя надо отметить, что способ глубокого прессования имеет ряд преимуществ перед другими способами и должен найти широкое применение в сфере обращения с отходами.

1.8.1. Обеззараживание ТБО глубоким прессованием

При прессовании ТБО, собранных в городских кварталах, и ТБО, из которых на мусороперерабатывающем заводе предварительно выделены все или часть утилизирующихся компонентов, условно можно назвать четыре стадии.

Первая стадия прессования – удельное давление до 0,1МПа. Такое удельное давление создается на полигонах при послойном (до 0,5м) уплотнении ТБО гусеницами бульдозера. При этом объем рыхлых ТБО, выгруженных из мусоровозов, уменьшается в 1,5 - 3 раза в зависимости от числа ходок бульдозера, состава и влажности ТБО.

При транспортировке в кузове мусоровоза при удельном давлении до 0,1МПа достигается уплотнение предельно рыхлых ТБО в 1,5 - 2 раза.

На первой стадии прессования происходит частичное сминание бумажных, пластмассовых и картонных упаковок. Влажность ТБО при таком прессовании практически не изменяется.

Вторая стадия прессования – удельное давление до 1 МПа. При повышении удельного давления до 1 МПа происходит интенсивная поломка различного рода коробок, пластмассовых бутылок и других емкостей. При этом объем ТБО, в зависимости от исходной плотности, состава и влажности может

быть уменьшен в 5-10 раз, а масса может достигать величины 0,8 - 0,9 т/м³. При таком удельном давлении еще не наблюдается интенсивное выделение влаги из прессуемых ТБО.

Третья стадия прессования – удельное давление до 10-20 МПа. При повышении удельного давления до 10-20 МПа происходит интенсивное выделение влаги (до 80-90% всей содержащейся в ТБО влаги), сминание жестяных консервных банок и других плохо сминаемых упаковок. При этом объем ТБО еще уменьшается в 1,5-2 раза при увеличении массы в 1,3-1,6 раз.

На этой стадии наблюдается резкое снижение активной жизнедеятельности микроорганизмов, так как отсутствие влаги и воздуха приводит к тому, что биохимическая жизнь аэробных микроорганизмов замирает, а контакт патогенных микроорганизмов с внешней окружающей средой сводится к минимуму.

Если на первых двух стадиях прессования время подъема давления не имеет принципиального значения, то на этой стадии уплотнения количество отжимаемой из ТБО влаги и повышение массы тюка ТБО непосредственно зависят от режима подъема давления и времени выдержки тюка ТБО под давлением. Это объясняется трудностью выхода жидкости и воздуха через слой спрессованных ТБО. Для решения этой задачи в прессах для ТБО, рассчитанных на давление 10-20 МПа и более, предусматриваются специальные устройства для образования в тюке ТБО сквозных отверстий. Геометрические размеры и формы тюка также влияют на время, необходимое для отжатия воздуха и влаги. В связи с этим получили распространение тюки удлиненной формы со сквозными отверстиями.

Четвертая стадия прессования – удельное давление до 60 МПа. При повышении удельного давления до 60 МПа объем тюка ТБО уменьшается незначительно, в основном за счет остаточной влаги. Активная микробиологическая жизнь в таком тюке ТБО практически замирает. В связи с этим транспортирование таких тюков и затем их укладка на полигонах производится с обеззараженным материалом. Однако для длительной стабилизации тюка спрессованных ТБО необходима дополнительная гидроизоляция. Так, спрессованные тюки ТБО в Неаполе (Италия) дополнительно оборачивают полиэтиленовой пленкой и только после этого транспортируют к месту переработки.

Проанализировав изменения, которые происходят в толще ТБО при прессовании, сделаем следующие выводы. Используя метод глубокого прессования, можно:

- стабилизировать микробиологическую жизнь в толще тюка ТБО и свести к минимуму контакты патогенных микроорганизмов с окружающей средой;
- избавляться от жидкой составляющей ТБО вблизи городских канализационных сетей и после предварительной очистки направлять фильтрат для механической и биологической очистки на существующих городских очистных сооружениях хозяйственных сточных вод;
- повышать плотность ТБО с величин, равных 0,1 – 0,2 т/м³, до величин, равных 1-1,3 т/м³, и тем самым рационально использовать емкости как мусоровозов, с помощью которых удаляется ТБО на участке «станция перегрузки ТБО – полигон ТБО», так и емкости самого полигона;

- превратить полигон ТБО в монтажную площадку плотной укладки тюков ТБО;
- исключить на площадках полигона такие операции, как разгрузка, послойное разравнивание, увлажнение и уплотнение ТБО;
- улучшить экологическую обстановку в районе полигона за счет исключения раздувания легких фракций ТБО, пыли и ограничения контакта насекомых, птиц, грызунов и бродячих животных с ТБО.

1.8.2. Измельчение и капсулирование ТБО с отвердителем

В некоторых странах (например, в Канаде) получил распространение способ обеззараживания и утилизации ТБО, при котором часть селективно собранных или искусственно разделенных на мусороперерабатывающем заводе отходов (за исключением металла и пищевых отходов) направляется в дробильное отделение и измельчается до размеров, меньших 1 см. Степень измельчения может изменяться в зависимости от заданных условий (размера конечных изделий, их прочности и др.). Затем измельченная масса промывается в щелочных растворах и направляется в емкости-смесители, куда также подается жидкий отвердитель (до 10 % от массы ТБО) и перемешивается до получения равномерной консистенции. На следующем этапе полученная в смесителях масса под давлением подается для заполнения заранее приготовленных форм конечной продукции – досок, брусков, плит, блоков и других конструктивных элементов любой толщины, длины и очертаний. Для придания изделию эстетических качеств приготовленные из ТБО элементы могут быть любого цвета, иметь полированную или шероховатую поверхность. Такие конструктивные элементы нашли широкое применение, так как они красивые, инертные, не боятся кислотных дождей, легко крепятся гвоздями, дешевые.

1.8.3. Использование вермикультуры для обеззараживания пищевых ТБО

Vermes – в переводе с латинского значит «червяк», следовательно, слово «вермикультура» с достаточной степенью условности обозначает понятие «выращивание дождевых червей».

Вермикультура – это биотехническая отрасль с использованием искусственно выведенных высокопродуктивных дождевых червей, которых выращивают с использованием дешевой кормовой базы для нужд птицеводства, рыборазведения и даже как особый деликатес для питания людей. Кормовой базой при использовании метода вермикультуры могут служить пищевые ТБО.

Другим не менее полезным, чем сами черви, является вермикомпост, т.е. переработанные червями пищевые отходы и грунт, в котором на протяжении шести месяцев жили дождевые черви. Именно вермикомпост дает основную коммерческую прибыль при выращивании червей. Он обладает высоким качеством экологически чистого удобрения, так как прошел через кишечную

пищеварительную систему червей, поддался воздействию пищеварительных ферментов и полностью обеззаражен. В вермикомпосте полностью отсутствуют семена сорняков, на грунте-вермикомпосте вырастает только то, что в нем посажено, и, следовательно, нет необходимости в дополнительной прополке, посаженному растению не мешают сорняки – конкуренты при потреблении питательных веществ.

В последнее время, в связи с промышленным выращиванием цветов, овощей и ягод, домашним цветоводством и содержанием аквариумов, вермикомпост и черви - продукты нашли широкий сбыт и продаются как тоннами, так и в розницу на килограммы. Цена одного килограмма червей составляет около 40 долларов, а одного килограмма вермикомпоста еще дороже – около 50 долларов. В ответ, почему такая высокая цена при постоянно растущем спросе на вермикомпост, можно сказать, что вермикомпост:

- содержит питательные вещества, крайне необходимые грунтам, особенно тем, которые представлены песчаными компонентами;
- повышает проникновение корней вглубь и способствует гармоничному развитию корневой системы растений;
- противостоит потере влаги грунтом;
- содержит активные биологические вещества, которые стимулируют развитие растений;
- содержит комплекс микроорганизмов, которые способствуют лучшему оструктурированию грунта;
- является экологически чистым комплексным удобрением.

Как уже говорилось, вермикультуры являются особыми, искусственно выведенными, высокопродуктивными гибридными линиями дождевых червей. Червей выращивают траншейным способом, в неглубоких кюветах или в специальных контейнерах. Компост, полученный с помощью дождевых червей, имеет кондиции, которые по своим биологическим качествам превышают качество обычных компостов. Грунт и пищевые отходы, которые прошли через кишечно-пищеварительную систему дождевого червя, насыщаются азотом, кальцием, магнием, фосфором и другими необходимыми для любого живого организма элементами. Экскременты червей не имеют запаха. Они насыщены полезными ферментами и бактериями, являются идеальной средой для прорастания семян культурных растений, так как не содержат семена сорняков. Вермикомпост, внесенный под корневую систему растений (в теплицах или в горшке с цветком на подоконнике), служит идеальным источником минеральной и органической подкормки, способствует активному росту, стимулирует растение к цветению, образованию большого количества завязей и быстрому плодоношению. Необходимо также отметить, что вермикомпост является практически идеальным экологически чистым удобрением. Благодаря вермикомпосту в развитых странах специалисты получают рекордные урожаи экологически чистых зимних и летних овощей, фруктов, цветов без добавки химических удобрений и пестицидов.

1.9. Муниципальное управление в сфере обращения с ТБО в городах Украины

Для достижения высоких экологических показателей и максимального снижения эксплуатационных затрат муниципальное управление в сфере обращения с ТБО должно предусматривать рациональные, экологически и экономически оправданные действия на каждом этапе движения ТБО от мест образования до заключительного этапа (компостирование, захоронение на полигонах, сжигание, пиролиз, переработка в общественно полезный продукт и др.). Всю многоступенчатую систему управления в сфере обращения с ТБО можно разделить на следующие этапы.

1.9.1. Сбор и временное хранение ТБО у мест образования

В настоящее время самым распространенным способом сбора ТБО в городах Украины является валовый сбор, когда в одно мусорное ведро и затем в один контейнер емкостью от 60 до 1100 литров складываются все ТБО, независимо от их происхождения, качества и степени влажности. Этот простой способ сбора чреват тяжелыми для переработки ТБО последствиями, а именно: в результате движения ТБО от мусорного ведра в отдельной квартире, мусоропровода и временного хранения в контейнере, а затем перемешивания и прессования в кузове мусоровоза происходит значительное изменение свойств ТБО. После их разгрузки на полигоне, мусоросжигательном или мусороперерабатывающем заводе получается слипшийся увлажненный материал, из которого весьма трудно извлечь и затем рационально использовать какой-либо компонент ТБО в виде вторичного сырья.

Как показал опыт многих зарубежных стран, самым прогрессивным способом сбора ТБО является селективный способ сбора. Этот способ нашел широкое применение, продолжает развиваться и совершенствоваться во всех экономически развитых странах. Сегодня во многих городах Европы, Азии и Америки сбор ТБО производится в шесть различных по цвету мешков или контейнеров: первый контейнер – для металла, второй – для стекла, третий – для бумаги, картона и текстиля, четвертый – для пищевых отходов, травы, листьев и других органических веществ, пятый – для изделий из пластмассы, шестой – для всех других включений (камней, битого фаянса, костей, смета и др.) При этом каждый мешок или контейнер (обычно мешки используют при сборе ТБО в районах индивидуальной застройки, а контейнеры – в районах многоквартирных домов) имеет свой цвет и наглядную маркировку, что позволяет адресно складировать каждый вид ТБО в контейнер, предназначенный для сбора именно этих отходов. При таком способе сбора все утилизируемые компоненты ТБО не смешиваются и, следовательно, не теряют своих исходных свойств и

доставляются специальными мусоровозами к пунктам обработки и превращения во вторичное сырье. Только содержимое шестого контейнера направляется для захоронения на полигоне.

Пищевые отходы и не утилизируемая органика (грязные тряпки, влажная бумага и картон), листья и ветки направляются на площадки приготовления компоста.

Более простым способом селективного сбора ТБО является разделение всех ТБО на два вида: «сухие» ТБО и «влажные» ТБО. К «влажным» ТБО относятся пищевые отходы, увлажненная бумага и картон, листья и трава. К «сухим» ТБО принадлежат все остальные виды ТБО. При такой схеме селективного сбора «влажные» ТБО вывозят в места приготовления компоста с обеззараживанием в биобарабанах либо в буртах полевого компостирования. Все «сухие» ТБО направляют на мусороперерабатывающие заводы, где осуществляется их механическая или ручная сортировка с выделением утилизирующих составляющих. Не утилизируемые составляющие ТБО удаляют для захоронения на полигонах.

Особым видом являются крупногабаритные ТБО, которые временно складируют не в контейнерах, а на открытых внутриквартальных площадках. Такие ТБО должны направляться на мусороперерабатывающие заводы, дробиться с последующим извлечением металла и изготовлением деревянных брикетов для дальнейшего использования в качестве топлива мусоросжигательных заводов или печей и каминов индивидуальной застройки. Не утилизируемые остатки крупногабаритного ТБО должны удаляться для захоронения на полигонах.

Другим особым видом отходов являются ТБО, образованные в больницах и поликлиниках, различного вида диспансерах, аптеках и на предприятиях фармацевтической и химической промышленности. Эти отходы обязательно должны направляться только на мусоросжигательные заводы или специальные печи для немедленного термического обеззараживания, т.е. сжигания.

Третьим особым видом ТБО являются опавшие листья. Листья и обрезки веток целесообразно направлять на площадки компостирования и вместе с осадком, образованным при очистке городских хозяйственно-бытовых сточных вод, готовить компост для удобрения почв городских газонов, парков, стадионов и др.

В настоящее время предприятия Украины способны обеспечить изготовление и поставку пластмассовых и металлических контейнеров любых типоразмеров (см. Приложения 1 – 4).

1.9.2. Удаление ТБО от места образования до мусороперегрузочной станции, мусороперерабатывающего или мусоросжигательного завода

ТБО, собранные валовым или селективным способами в контейнеры временного хранения согласно требованиям санитарных норм, должны регулярно и своевременно вывозиться к местам их обеззараживания. Разгрузка контейнеров временного хранения и удаление ТБО, как правило, осуществляются по планово-регулярной или заявочной системе. Для транспортирования ТБО используют специально оборудованные мусоровозы. Загрузка мусоровоза производится через люк на крыше мусоровоза или через люк в задней торцевой стене мусоровоза. Загрузка мусоровоза через верхний люк требует поднятия полных контейнеров с ТБО на высоту 3 м. При загрузке в кузов мусоровоза ТБО рассыпаются на площадке и за ее пределами. Особенно велика просыпь мусора в ветренную погоду. При загрузке мусоровоза через задний люк подъем контейнера минимальный и пересыпаемые в кузов мусоровоза ТБО защищены от воздействия ветра, что исключает просыпь ТБО. К сожалению, в большинстве городов Украины мусоровозы пока оснащены только верхними люками (мусоровозы типа КО-413 и КО-415).

Следует отметить, что в последние годы в некоторых городах Украины (Киеве, Одессе, Тернополе) эксплуатируются импортные мусоровозы повышенной вместимости, оборудованные задним универсальным механизмом загрузки. Сравнительные характеристики импортных и отечественных мусоровозов (по данным Харьковского института УкркоммунНИИпрогресс) приведены в табл. 1.17:

Таблица 1.17 – Сравнительные характеристики импортных и отечественных мусоровозов

Модель мусоровоза	Тип шасси	Грузоподъемность, т	Коэффициент уплотнения	Затрата топлива, л/100км	Стоимость	Удельные затраты топлива, 10 ³ т.у.п./т ТБО
КО – 413	ГАЗ-3307	3,3	1,7	24,5	51,6 тыс. грн.	4,95
КО – 415	КАМАЗ – 53213	9,0	До 2	25,5 (Д)	80 тыс. грн.	1,98
Импортные мусоровозы	Mercedes-Benz	16,0	4	23-28 (Д)	35-42 тыс. ДМ	1,07

Необходимо также заметить, что предприятия Украины способны обеспечить изготовление и поставку современных мусоровозов любых типоразмеров с емкостью кузова от 5 до 24 кубометров и оборудованных задней загрузкой (см. Приложения 5 и 6).

1.9.3. Мусороперегрузочные станции

При значительном удалении ТБО от границ города (более 10-15 км) следует рационально использовать мусороперегрузочные станции, превратив систему удаления ТБО в двухступенчатую. На первой ступени осуществляется сбор ТБО из контейнеров временного хранения и их транспортировка небольшими маневренными мусоровозами по территории города от мест сбора до мусороперегрузочной станции, а также разгрузка ТБО в приемный бункер мусороперегрузочной станции. На второй ступени производится загрузка и уплотнение ТБО в кузова большегрузных мусоровозов, а затем доставка к полигону. Многолетний зарубежный опыт эксплуатации систем удаления ТБО с мусороперегрузочными станциями (Лондон, Москва, Екатеринбург и др.) показал рациональность таких систем и их высокую экономичность.

Мусороперегрузочные станции необходимо размещать на территориях городских промзон вблизи железнодорожных линий и объединять с мусороперерабатывающими заводами.

Площадки мусороперегрузочных станций следует оборудовать прессами для получения тюков ТБО высокой плотности (до 1-1,2 т/м³), а также системой предварительной, локальной очистки фильтрата, отжатого из ТБО, и его удаления в городскую сеть хозбытовой канализации для дальнейшей очистки совместно с хозбытовыми стоками.

1.9.4. Транспортировка ТБО от мусороперегрузочной станции до полигона

Транспортировку спрессованных ТБО на участке от мусороперегрузочной станции до полигона рационально осуществлять следующими видами транспорта:

- 1) автомобилями с кузовами большой вместимости (до 50-60 м³), используя прицепы и образуя таким образом автопоезда;
- 2) железнодорожными платформами, оборудованными брезентовыми накидками для защиты тюков спрессованного ТБО от воздействия ветра, дождя и снега. Для перевозки сыпучих видов ТБО следует использовать саморазгружающиеся думпкары;
- 3) грузовыми троллейбусами и трамваями для городов курортных зон (Большая Ялта), а также для городов большой протяженности, имеющих развитую троллейбусную и трамвайную сеть (например, Кривой Рог, длина которого более 120 км при небольшой ширине жилой зоны);
- 4) баржами для больших городов, расположенных на берегах судоходных рек и побережье морей.

Достоинства автомобильного транспорта для перевозки тюков спрессованных ТБО очевидны. Однако в данном случае все города Украины станут перед проблемой приобретения большегрузных мусоровозов.

Перспективным для Украины является транспортирование тюков спрессованных ТБО железнодорожным транспортом, что во много раз (более 20)

уменьшит транспортные расходы и не потребует приобретения новых платформ (парк подвижного грузового состава железных дорог Украины располагает достаточным потенциалом для покрытия потребностей коммунального хозяйства городов).

1.9.5. Полигоны ТБО

Правила устройства, содержания и эксплуатации полигонов ТБО приведены в КТН 204 Украины 019-96 «Порядок устройства, содержания и эксплуатации полигонов ТБО». В дополнение к указанным выше правилам необходимо учитывать следующие законодательные документы Украины:

1. Про відходи / Закон України від 5 березня 1998 року № 187/98-ВР // Урядовий кур'єр.-1998.-№ 77-78.
2. Про охорону навколишнього природного середовища / Закон Української РСР від 25 червня 1991р. // Закони України: Офіційне видання. Т.2.-К., 1996.-С.46-79.
3. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення / Закон України від 24 лютого 1994р. // Законодавство України про охорону праці (у трьох томах). Т.3.-К., 1995.-С.244-277.
4. Про затвердження порядку ведення реєстру місць видалення відходів / Постанова Кабінету Міністрів України № 1216 від 3 серпня 1998р. // Урядовий кур'єр.-1998.-№ 168-169.
5. Про затвердження Порядку виявлення та обліку безхазяйних відходів / Постанова Кабінету Міністрів України № 1217 від 3 серпня 1998р. // Урядовий кур'єр.-1998.-№ 168-169.
6. Про затвердження Порядку розроблення, затвердження і перегляду лімітів на утворення та розміщення відходів / Постанова Кабінету Міністрів України № 1217 від 3 серпня 1998р. // Урядовий кур'єр.-1998.-№ 168-169.
7. Про затвердження Порядку ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів / Постанова Кабінету Міністрів України № 1360 від 31 серпня 1998р. // Зібрання Законодавства України. Серія 1. Постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України.-К.-12/1998.
8. Правила санітарного содержания территорий населенных пунктов / СанПиН 42-128-4690-88.
9. Рекомендовані норми накопичення твердого побутового сміття для населених пунктів України: Керівний технічний матеріал КТМ 204 України 012-95. – К., 1995.
10. Правила прибирання та утримання територій населених пунктів України: Керівний технічний матеріал КТМ 204 України 013-95. – К., 1995.
11. Рекомендації з організації збирання, транспортування та знешкодження твердого побутового сміття. Р 204 України 003-96. – К., 1996.
12. Типові норми часу на роботи з механізованого прибирання та санітарного очищення населених пунктів, затверджені ДЖКГ України 12.09.1997р.
13. Про програму використання відходів виробництва і споживання на період до 2005 р. / Постанова Кабінету Міністрів України № 668 від 28 червня 1997р.

14. Про затвердження переліків відходів і їх небезпечних властивостей та інструкцій щодо контролю за транскордонним перевезенням відходів і їх утилізацією з видаленням / Наказ Мінекобезпеки № 164 від 10 жовтня 1997р. // Офіційний вісник України.-1997.-№ 44.
15. Про затвердження Порядку одержання дозволу на виробництво, зберігання, транспортування, використання, захоронення, знищення та утилізацію отруйних речовин, у тому числі токсичних промислових відходів, продуктів біотехнології та інших біологічних агентів / Постанова Кабінету Міністрів України від 20 червня 1995р., № 440.
16. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля * Дата підписання: 25.06.98р. Дата ратифікації: 06.07.1999р. / Закон України № 832-XIV.
17. Про впровадження системи збирання, сортування, транспортування, переробки та утилізації відходів як вторинної сировини / Постанова Кабінету Міністрів України від 26 липня 2001р. № 915.
18. Правила надання послуг із збирання та вивезення твердих і рідких побутових відходів: Затверджені Наказом Держбуду України від 21 березня 2000р., № 54. Зареєстровано в Мін'юсті України 31 липня 2000р. за № 457/4678.
19. Про затвердження Переліку окремих видів відходів як вторинної сировини, надання послуг із збирання та заготівлі яких звільнюється від обкладення податком на додану вартість, а отримані доходи – від оподаткування / Постанова Кабінету Міністрів України № 1197 від 3 серпня 2000р.
20. Програма реформування і розвитку житлово-комунального господарства на 2002-2005 роки та на період до 2010 року / Постанова Кабінету Міністрів України № 139 від 14 лютого 2002р.

Кроме учета рекомендаций, изложенных в перечисленных законодательных документах, нужно для вновь строящихся полигонов учитывать следующее:

1. Полигоны не следует размещать в пригородных зонах больших городов, так как свалочный газ, даже при проведении его сбора, продолжает поступать в атмосферу, загрязняя ее метаном и другими микрогазами.

2. Широкие лесополосы (20-50 м) вокруг площадок полигонов являются эффективной защитой прилегающих территорий от вредного воздействия пыли, свалочного газа, выхлопных газов строительных машин и мусоровозов, легких разносимых ветром бумажек и пленок, шума работающих машин, обеспечивающих складирование ТБО. Широкие лесополосы необходимо вводить в состав обязательных сооружений полигона и относить их посадку к первому этапу первой очереди строительства.

3. Для уменьшения объема транзитных вод, образованных за счет атмосферных осадков на прилегающих территориях, а также защиты грунтовых вод от загрязнения, полигоны ТБО нужно размещать на водораздельных участках двух смежных речных бассейнов, где водоупорные пласты имеют максимальную мощность, не прорезаны оврагами и уровень грунтовых вод

удален от поверхности. Инженерно-геологические условия, обеспечивающие экологическую безопасность при сооружении полигонов ТБО, приведены в Приложении 7.

4. Поверхностный сток с площади самого полигона и площади промдвора, где размещаются сооружения, обеспечивающие его работу (кавалеры инертного и растительного грунта, гаражи-стоянки мусоровозов и строительных машин, площадки для мойки машин и механизмов, санитарные бассейны для обеззараживания колес мусоровозов и др.) загрязнен взвесью, нефтепродуктами и патогенными микроорганизмами и представляет прямую угрозу загрязнения водных объектов, расположенных ниже полигона. Для очистки поверхностных вод, стекающих с площадки, ограниченной по периметру лесополосой, нужно устраивать очистные сооружения типа «Биоплато».

5. Полигоны ТБО не следует размещать в зоне действия аэропортов. При размещении полигонов надо учитывать пути суточной миграции птиц от мест гнездования до мест кормежки на открытых картах полигона.

6. Учитывая перспективное присоединение Украины к странам Европейского Союза, при проектировании и строительстве новых полигонов необходимо учитывать требования к защите атмосферы, литосферы и гидросферы, действующие в странах ЕС.

7. Для снижения эксплуатационных расходов при транспортировании ТБО на участке «мусороперегрузочная станция – полигон», а также для более эффективного использования емкости полигона, уменьшения объема фильтрата, пыли, запахов, шума и др. рекомендуется на площадке мусороперегрузочной станции проводить глубокое прессование ТБО с образованием тюков с массой 1-1,2 т/м³. Фильтрат, отжатый из ТБО, следует направлять на локальные очистные сооружения и затем, после предварительной очистки, в городскую канализационную сеть для механической и биологической очистки вместе с хозяйственными сточными водами города.

8. Для снижения эксплуатационных расходов на участке «мусороперегрузочная станция – полигон» транспортирование спрессованных тюков ТБО нужно осуществлять железнодорожным транспортом, а мусороперегрузочную станцию и полигон ТБО размещать в непосредственной близости от железной дороги.

1.9.6. Перспективная схема муниципального управления в сфере обращения с ТБО для городов Украины

На базе анализа существующих решений в сфере обращения с ТБО, изучения существующей сети железнодорожного транспорта, а также перечисленных выше в § 1.9.1 – 1.9.5 этапов системы управления в сфере обращения с ТБО возможно предложить новую перспективную схему управления в сфере обращения с ТБО в городах Украины.

Основными отличительными характеристиками новой схемы муниципального управления в сфере обращения с ТБО, в сравнении с традиционными решениями, являются:

- постепенный, поэтапный переход к селективному сбору ТБО в жилых кварталах, на предприятиях и в организациях, где пищевые отходы отсутствуют;
- постепенная замена парка мусоровозов типа КО – 413 и КО – 415 на новые типы мусоровозов с задней загрузкой;
- создание в производственных зонах городов мусороперегрузочных станций, оборудованных прессами для паковки ТБО в тюки с массой спрессованного ТБО, равной $1 - 1,2 \text{ т/м}^3$, локальными очистными сооружениями для предварительной очистки отжатого при пакетировании фильтрата перед его сбросом на городские очистные сооружения для совместной очистки с хозяйственными стоками города;
- создание мусоросортировочных заводов для максимального использования всех утилизируемых составляющих ТБО;
- создание площадок компостирования органических составляющих ТБО совместно со сметом опавших листьев, обрезок ветвей и осадком сточных вод после их очистки на городских очистных сооружениях;
- создание широкой сети стационарных и передвижных пунктов приема вторичного сырья (макулатура, картон, пластмасса, стекло всех видов, металлы и др.), а также предприятий по их переработке;
- заключение на коммерческой основе прямых контрактов между предприятиями по переработке вторичного сырья и предприятиями, организациями и учреждениями на поставку отдельных видов вторичного сырья (например, бумажные отходы учреждений, школ, вузов и т.д.; одноразовая посуда ресторанов, упаковки торговых центров и др.);
- создание за пределами пригорода и зеленой зоны вокруг крупных городов, со сроком эксплуатации не менее 50 лет, кустовых полигонов, полностью отвечающих международным требованиям и нормам, действующим в странах ЕС; складирование прессованных тюков ТБО будет представлять монтаж блоков с минимальным воздействием на окружающую среду;
- учитывая, что транспортные расходы при использовании железных дорог в 20-25 раз ниже транспортных расходов при использовании автомобилей, транспортировку спрессованных тюков ТБО к площадкам кустовых полигонов рационально осуществлять железнодорожным транспортом;
- проведение широкой постоянной разъяснительно-агитационной работы с населением, создание разнообразных стимулирующих муниципальных программ.

Предлагаемая новая схема муниципального управления в сфере обращения с ТБО для городов Украины предусматривает несколько стадий своего развития.

1.9.6.1. Первая стадия развития

На первой стадии развития существующая в городах Украины схема обращения с ТБО сохраняет валовый сбор ТБО в жилых кварталах, т.е. сбор всех видов ТБО производится в один общий контейнер.

Одновременно в промзонах городов в непосредственной близости от действующих железнодорожных линий строятся мусороперегрузочные станции, которые соединяются с действующими железнодорожными линиями подъездами.

Мусороперегрузочные станции оснащаются приемными бункерами и прессами, на которых на первой стадии развития прессуются все ТБО, собранные методом «валового» сбора в жилых кварталах.

Мусороперегрузочные станции оборудуются локальными очистными сооружениями для предварительной очистки отжатого из тюков ТБО фильтрата перед его отводом в сеть городской канализации для совместной механической и биологической очистки с хозяйственно-бытовыми стоками города.

Вокруг мусороперегрузочных станций создаются максимально возможные защитные зеленые зоны с посадкой деревьев и устройством пылеподавляющих фонтанов.

Доставка ТБО от жилых кварталов до станций перегрузки осуществляется мусоровозами, имеющимися в наличии в городах на момент начала осуществления новой схемы.

Доставка спрессованных на мусороперегрузочной станции тюков ТБО от станции перегрузки до полигона осуществляется железнодорожным транспортом.

Одновременно со строительством мусороперегрузочных станций за пределами пригородной и зеленой зоны создается новый кустовой полигон ТБО, рассчитанный на многолетний (не менее 30 – 50 лет) прием ТБО не только областного центра, но и ряда других городов области, тяготеющих к площадке кустового полигона.

Выбор места размещения кустового полигона при осуществлении новой схемы управления зависит от ряда таких факторов, как расположение сети железнодорожных линий и аэропортов (имеется в виду пересечение трасс ежедневной миграции птиц от мест гнездования до места кормежки птиц на открытых рабочих картах полигона со взлетно-посадочными линиями аэропортов).

С точки зрения уменьшения объема транзитных поверхностных вод, размещения максимальной не нарушенной оврагами толщи слабофильтрующих грунтов с коэффициентом фильтрации менее 0,001 м/сутки, глубокого залегания уровня грунтовых вод кустовые полигоны предпочтительно размещать на водораздельных плато (см. Приложение 7).

В качестве конкретного примера выбора перспективной площадки для устройства кустового полигона для Харьковского региона возможно рассмотреть площадку в юго-восточной части Богодуховского района на водораздельном участке бассейнов Днепра и Сев. Донца в районе железнодорожного перегона между станциями Буклеевское и Газовое.

Местоположение перспективной площадки кустового полигона указано на рис. 1.11, а геологическое строение основания возможного полигона приведено в Приложении 8.

Для защиты прилегающей к кустовому полигону территории от вредного воздействия биогаза, пыли, запахов и шума вокруг площадки полигона необходимо создание мощной защитной лесополосы, шириной не менее 50 м. Создание защитной лесополосы должно быть отнесено к первому этапу первой очереди строительства полигона.

К обязательным объектам первой стадии развития относится создание специальных мусоросжигательных печей, где в соответствии с санитарными нормами должно производиться немедленное высокотемпературное (более

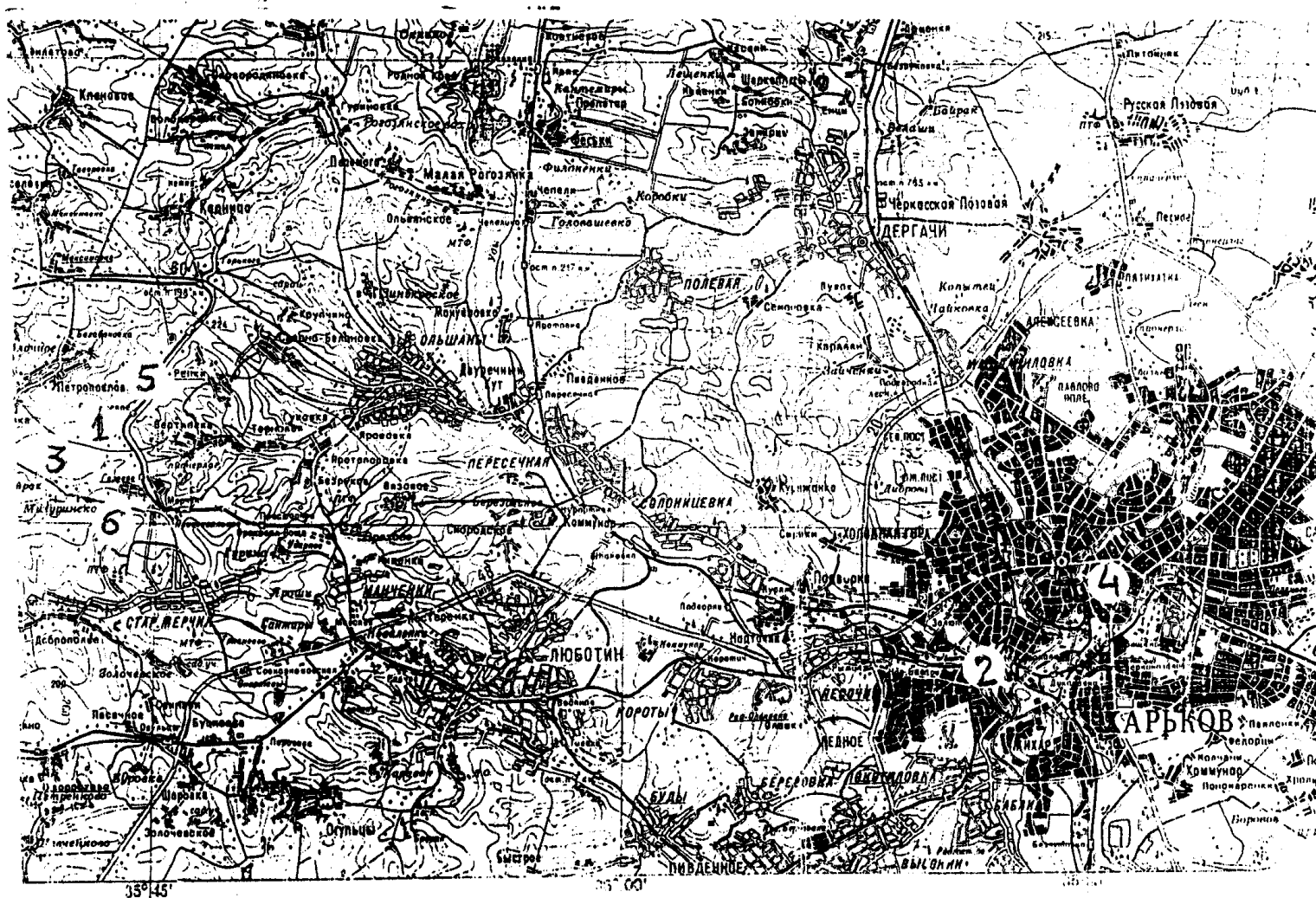


Рис. 1.11 – Перспективная схема размещения кустового полигона ТБО и удаления прессованного ТБО железнодорожным транспортом (на примере Харьковской области):

- 1 – кустовой полигон ТБО; 2 – мусороперегрузочные станции, где ТБО прессуется в тюки; 3 – существующая геологическая скважина; 4 – зона сбора ТБО в жилых кварталах; 5 – железная дорога; 6 – автомобильная дорога

1200°С) обеззараживание (сжигание) ТБО больниц, различных диспансеров, аптек, а также ТБО некоторых химических производств. При этом на первой стадии развития технологическая линия сжигания ТБО должна быть оборудована как минимум двумя ступенями очистки дымовых газов (электрофильтры для перехвата золы уноса и скрубберы для нейтрализации кислотных паров в дымовых газах).

Одновременно на первой стадии развития схема муниципального управления должна предусматривать создание широкой сети стационарных и передвижных пунктов приема вторичного сырья (макулатура, картон, пластмассы, все виды стекла, металлы и др.), а также предприятий малого и среднего бизнеса по переработке вторичного сырья. Предприятиям, работающим в сфере обращения с отходами, следует иметь определенные стимулирующие льготы.

Органы муниципального управления должны содействовать заключению на коммерческой основе прямых контрактов между предприятиями по переработке вторичного сырья и предприятиями, где возможно образование отдельных видов ТБО (вузы, школы, торговые центры, учреждения и др.) на поставку отдельных видов вторичного сырья.

Указанное выше решение является одним из видов селективного сбора ТБО и позволяет уже на первом этапе развития существенно сократить нагрузку на действующие полигоны.

В печати, на радио и телевидении должны проводиться широкая и постоянная агитационно-просветительская работа с населением, создаваться разнообразные стимулирующие селективный сбор ТБО программы, должен быть разработан пакет соответствующих законодательных документов.

1.9.6.2. Вторая стадия развития

На второй стадии развития перспективной схемы муниципального управления в сфере обращения с ТБО для городов Украины осуществляется переход к так называемому «малому» селективному сбору ТБО в жилых кварталах. Для этого в каждом месте сбора временного хранения ТБО оборудуются площадки с твердым покрытием и удобным подъездом, где устанавливаются два контейнера нового типа с крышками для раздельного приема «сухих» и «влажных» ТБО.

«Сухие» ТБО доставляются к мусороперегрузочным станциям, где, кроме прессов и сооружений для предварительной очистки фильтрата, должны быть установлены автоматизированные мусоросортировочные комплексы. Например, комплексы МСК «Станко», работающие в Москве в похожих климатических условиях. Комплексы «Станко» способны выделять практически все утилизируемые отходы, входящие в состав ТБО: бумагу, картон, тряпки, пластмассу, стекло, металлы и др. Производительность модулей комплексов «Станко» составляет величины от 20 до 250 тыс. тонн в год, что позволяет комплектовать мусоросортировочным оборудованием практически любой город Украины от поселка городского типа до мегаполиса.

В городах создаются промпредприятия по утилизации сортированных ТБО

и превращения их в общественно полезный продукт.

«Влажные» ТБО доставляются к площадкам приготовления компоста, которые следует размещать в непосредственной близости от площадок складирования обезвоженного осадка хозяйственных сточных вод после их механической и биологической очистки на городских очистных сооружениях. Не утилизируемые при изготовлении компоста ТБО вывозятся к ближайшей мусороперегрузочной станции, где прессуются и пакетируются с последующей доставкой их железнодорожным транспортом к кустовому полигону.

На второй стадии развития в районных центрах области создаются свои собственные мусоросортировочные комплексы с прессованием и пакетированием ТБО.

По мере завершения сроков эксплуатации происходит постепенная замена мусоровозов с «верхней» загрузкой, на мусоровозы с «задней» загрузкой ТБО и повышенной вместимостью.

Мусоросжигательные комплексы, обслуживающие больницы, диспансеры и др. учреждения, ТБО которых требуют немедленного обеззараживания, оборудуются третьей ступенью очистки дымовых газов (например, тканевые рукавные фильтры). При необходимости осуществляется совместное сжигание ТБО с сухими осадками сточных вод.

На действующем кустовом полигоне строятся и вводятся в эксплуатацию цеха по улавливанию, обогащению и утилизации биогаза. Строятся сооружения для очистки загрязненного поверхностного стока, стекающего с площадок хоздвора полигона ТБО. Ведутся работы по рекультивации отработанных участков кустового полигона.

Местная промышленность переходит на новые технологии изготовления пленочных изделий (пакеты, мешки, сумки и т.д.) из пластмассы, срок жизни которой не превышает 3-5 лет.

В печати, на радио и телевидении ведется широкая агитационно-просветительская работа с населением по вопросам селективного сбора ТБО в жилых кварталах. Создаются муниципальные программы – поддержки проблем селективного сбора ТБО, программы – поддержки малого бизнеса, работающего с отходами.

1.9.6.3. Третья стадия развития

В дополнение к работам, указанным при второй стадии развития перспективной схемы муниципального управления в сфере обращения с ТБО для городов Украины, осуществляется полный переход к селективному сбору ТБО в жилых кварталах.

На мусоросжигательных комплексах обезвреживания ТБО вводятся четвертые ступени очистки дымовых газов (каталитическая очистка дымовых газов от СО и NO_x).

Осуществляется полное обновление парка мусоровозов за счет приобретения мусоровозов повышенной емкости (до 10-12 м³) с задней загрузкой.

Завершается полная замена контейнеров старого типа в жилых кварталах на новые типа контейнеров с учетом селективного сбора ТБО.

1.10. Развитие сферы обращения с ТБО в странах Западной Европы

1.10.1. Правовая и нормативная база сферы обращения с ТБО

Правовую основу функционирования сферы обращения с отходами в странах Западной Европы можно проанализировать на примере Федеративной Республики Германии. Закон о хозяйстве замкнутого цикла и отходах здесь был принят 27.09.1994г. и действует в настоящее время с учётом поправок и изменений, внесенных 03.05.2000г.

Целью принятия этого закона было развитие хозяйства замкнутого цикла, сбережение природных ресурсов и обеспечение экологически безопасного удаления отходов. В соответствии с Законом под отходами подразумевают все движимые предметы, от которых владелец избавляется, хочет или должен избавиться. Отходы подразделяют на утилизируемые и не утилизируемые (удаляемые). Считается, что владелец должен избавиться от движимых предметов, если они больше не используются согласно их первоначальному назначению, если они способны представлять угрозу для общественного блага, в частности для окружающей среды и если их потенциальная опасность может быть устранена путём утилизации или удаления.

Хозяйство замкнутого цикла охватывает систему сбора, транспортировки и переработки отходов. Законом определены следующие принципы хозяйства замкнутого цикла:

- не допускать образования отходов;
- стремиться к уменьшению объёма образования отходов;
- стремиться к образованию менее опасных и вредных отходов;
- образовавшиеся отходы утилизировать;
- образовавшиеся отходы использовать для получения энергии (энергетическая утилизация).

Мерами по недопущению образования и снижению объёмов образования отходов являются выпуск малоотходной продукции и стимулирование потребителей к приобретению такой продукции.

Под утилизацией отходов подразумевается замещение исходного сырья добытыми из отходов веществами или изыскание возможности их дальнейшего использования по назначению.

Энергетическая утилизация допустима, если теплотворная способность отдельного вида отходов без смешивания с другими веществами составляет не менее 11000 кДж/кг, полнота сгорания – не менее 75%, полученное тепло используется, а шлаки от сжигания могут складироваться без дальнейшей переработки.

Приоритет отдаётся экологически безопасному виду утилизации. Утилизация отходов более предпочтительна, чем их удаление. Она должна осуществляться без ущерба для окружающей среды, если нет оснований опасаться ущерба для общественного блага и если не происходит накопление вредных веществ в кругообороте полезных веществ.

Отходы должны быть утилизированы, если это технически возможно и экономически приемлемо, если существует или может быть создан спрос на полученное вещество или выработанную энергию.

Экономическая приемлемость утилизации имеет место, когда связанные с утилизацией затраты соизмеримы с затратами на удаление.

Утилизация отходов по отношению к их удалению не имеет приоритета, когда удаление является экологически более безопасным решением с учётом:

- прогнозируемых выбросов и сбросов;
- сбережения природных ресурсов;
- соотношения количества затрачиваемой и получаемой энергии;
- накопления вредных веществ в изделиях или отходах для утилизации.

Различные виды отходов должны храниться и обрабатываться отдельно друг от друга.

Правительство страны уполномочено Законом устанавливать требования к хозяйству замкнутого цикла, в том числе:

- ограничивать присутствие или использование определённых видов отходов в изделиях;
- устанавливать порядок сбора, транспортировки, передачи другому лицу и хранения отходов;
- обязывать владельца отходов при передаче их другому лицу информировать его о порядке обращения с ними;
- предписывать обязательную маркировку отходов.

Неутилизируемые (остаточные) отходы должны быть исключены из хозяйства замкнутого цикла и удалены.

Удаление отходов включает операции сбора, транспортировки, обработки, хранения, захоронения и передачи отходов.

Отходы подлежат удалению на территории страны. Они должны удаляться без причинения ущерба общественному благу. Ущерб имеет место, когда:

- причиняется вред здоровью человека;
- подвергаются опасности флора и фауна;
- оказывается вредное воздействие на водные ресурсы, почву, выбрасываются загрязняющие воздух вещества, создаётся шум;
- нарушаются природные ландшафты.

Правительство страны в соответствии с уровнем развития техники устанавливает требования к удалению отходов, включающие методы их сбора, обработки, хранения и захоронения.

Производители или владельцы ТБО обязаны передавать их юридическим лицам, в обязанность которых входят сбор и удаление отходов. Владельцы земельных участков, где образуются подлежащие передаче отходы, обязаны обеспечивать установку необходимых для сбора отходов резервуаров и доступ на земельный участок для обеспечения вывоза отходов, для контроля за раздельным хранением и утилизацией отходов.

Производитель отходов несёт ответственность за продукт, который должен соответствовать требованиям хозяйства замкнутого цикла, а именно:

- изделия должны использоваться многократно, обладать большим сроком службы, после окончания использования быть пригодными для

безвредной утилизации или удаления;

- преимущественное использование утилизируемых отходов или вторичного сырья при изготовлении изделий;
- маркировку изделий, содержащих вредные вещества, для обеспечения экологически безопасной утилизации или удаления;
- указания на возможность или обязанность возврата, повторного использования;
- приём изделий и отходов, остающихся после использования.

Развитие сферы обращения с отходами должно организовываться планомерно. Местные органы власти составляют план обращения с отходами на своей территории, включающий следующие вопросы:

- перечень установок для захоронения и утилизации отходов;
- перечень земельных участков, предназначенных для размещения этих установок;
- определение службы, отвечающей за сбор и удаление отходов;
- прогноз ситуации на период не менее 10 лет.

Следует учитывать, что полигоны и стационарные установки для хранения и обработки отходов являются объектами обязательной экологической экспертизы.

Законом предусмотрено информирование общественности о достигнутом уровне предотвращения образования, утилизации и захоронения отходов. Такая информация должна содержать (с соблюдением необходимой конфиденциальности) краткое изложение и оценку планов обращения с отходами, сравнение с предыдущим планом и прогноз на будущий период.

Контроль сферы обращения с отходами предусматривает следующие процедуры:

- доказательство факта удаления отходов;
- доказательство факта утилизации отходов;
- оформление разрешения на их транспортировку;
- оформление разрешения на посреднические сделки.

1.10.2. Структура сферы обращения с ТБО

Схема организации сферы обращения с отходами в Федеративной Республике Германии показана на рис. 1.12.

В 2002 г. захоронение отходов осуществлялось более чем на 300 полигонах, действовали 61 термическое и 78 механико-биологических сооружений по переработке отходов. Вопросами утилизации отходов занималось более 2000 предприятий.

В сфере обращения с ТБО занято большое количество людей. Например, в Берлине на предприятии, уполномоченном производить сбор и удаление ТБО, занято 7000 чел. Это значит, что 1 человек, работающий в сфере обращения с ТБО, в Берлине обслуживает 485 жителей города; в Потсдаме – 515.

Западноевропейские муниципальные компании, уполномоченные работать в сфере обращения с ТБО, имеют идентичные обязанности, но существует широкий диапазон вариантов организации их работы.

Основные фонды предприятий и организаций по их обслуживанию могут находиться как в коммунальной, так и в частной собственности.

Таблица 1.18

Основные фонды, обслуживающая организация	Доля собственности, %	
	коммунальной	частной
Контейнеры	65	35
Операторы контейнеров	50	50
Мусоровозы	40	60
Операторы мусоровозов	40	60
Станции перегрузки	95	5
Операторы станций перегрузки	95	5
Заводы по переработке отходов	30	70
Операторы заводов по переработке отходов	20	80
Мусоросжигательные заводы	75	25
Операторы мусоросжигательных заводов	75	25
Полигоны ТБО	100	0
Операторы полигонов ТБО	75	25

Гарантии стабильного финансирования сферы обращения с ТБО обеспечиваются:

- прогнозом объемов образования отходов по компонентам морфологического состава;
- прогнозом стоимости работ и услуг по каждой составляющей (зарплата, сырье, материалы);
- расчетом калькуляции общей стоимости;
- прогнозом численности населения или домашних хозяйств;
- прогнозом количества предприятий, нуждающихся в услугах вывоза ТБО;
- распределением стоимости между населением и предприятиями;
- организацией четкой работы системы выписывания счетов и взыскания платежей.

Существенное влияние на устойчивое функционирование сферы обращения с ТБО оказывает правильный выбор системы и критериев контроля со стороны муниципалитета, обеспечивающий сбалансированность коммерческих и государственных интересов.

Для обеспечения минимальных тарифов на удаление ТБО важную роль имеют выбор субподрядных организаций на основе проведения тендерных торгов, правильное определение соотношения перерабатываемых и захороняемых отходов.

Объем образования отходов на 1 человека может несколько отличаться в разных городах и зависеть от доли населения, проживающего в индивидуальных домах, количества, площади приусадебных участков у горожан, численности населения и др. факторов.

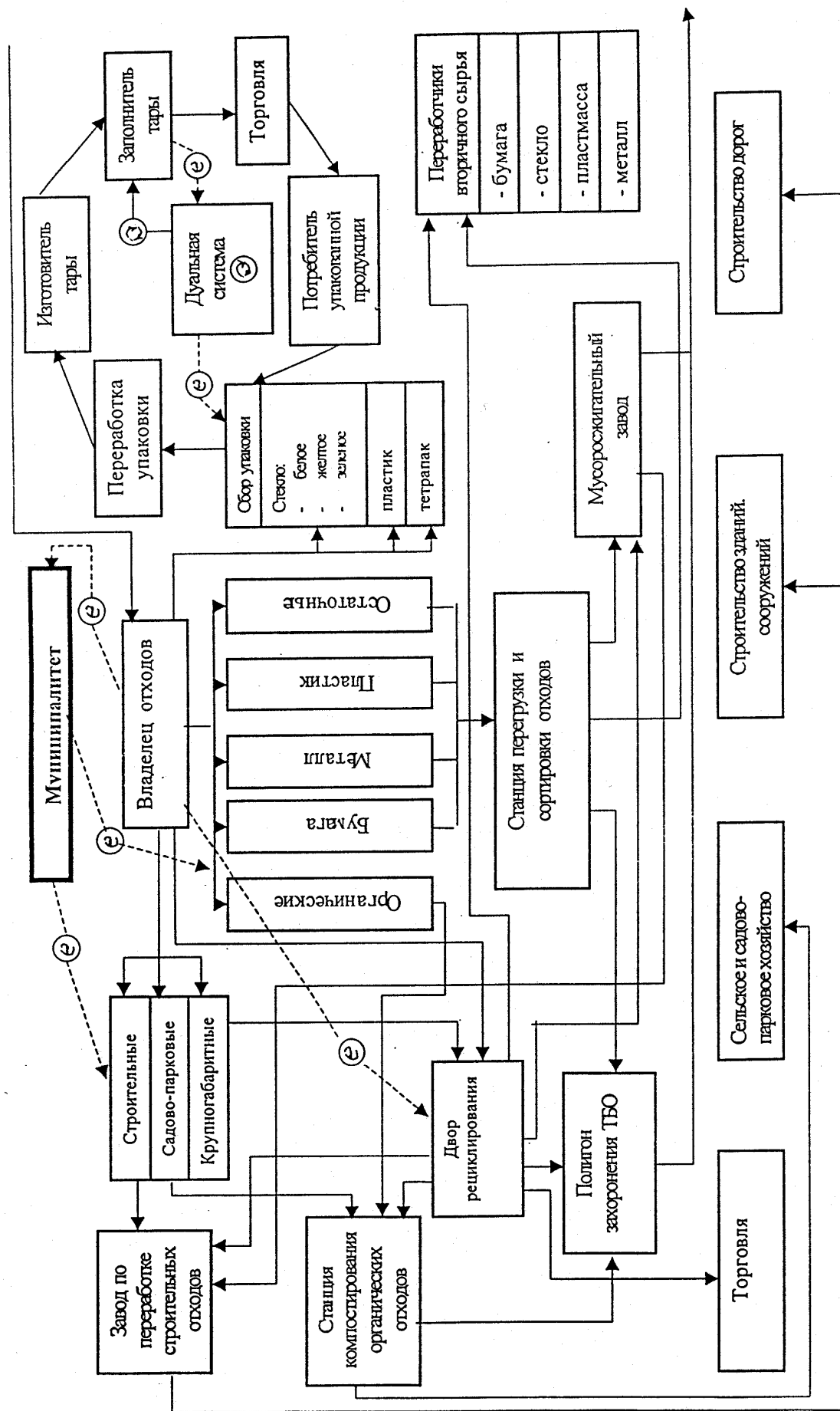


Рис. 1.12-Схема организации сферы обращения с ТБО в Германии

Так, в Берлине при численности населения 3,4 млн. человек в 2001г. на каждого жителя было образовано 353 кг ТБО, в Нюрнберге при численности населения 0,49 млн. человек – 254 кг; в Потсдаме с населением – 0,13 млн. чел. – 240 кг.

Отмечается тенденция снижения объёма образования ТБО. В Берлине за период 1993 – 2001гг. объём образования ТБО уменьшился с 2 до 1,2 млн.т.

Усреднённый морфологический состав ТБО колеблется в таких пределах:

- органические отходы – 29-34%;
- бумага и картон – 21-37,5%;
- стекло – 15-13,8%;
- пластик – 7-6,7%;
- металл – 5-4,7%;
- остаточные отходы – 23-3,3%.

1.10.2.1. «Дуальная система» – организатор и посредник в вопросах сбора и переработки разовой упаковки

Еще недавно проблема сбора и утилизации использованной упаковки представляла угрозу для окружающей природной среды стран Западной Европы. Проблема обострялась по мере того, как банки, пакеты, бутылки разового использования вытеснили тару, имеющую залоговую стоимость и подлежащую возврату в торговую сеть.

В настоящее время директивными документами стран ЕС предписано, что все производители и пользователи разовой упаковки обязаны принимать ее и пускать в дальнейший оборот.

Дуальная система призвана выполнить роль организатора и посредника в решении этой проблемы. Предприятия, использующие разовую тару и другую упаковку для расфасовки продукции («заполнитель тары») приобретают в дуальной системе право на использование необходимого количества «зеленых точек», которые наносятся на этикетку. Это значит, что дуальная система берет на себя обязательства по сбору и переработке разовой упаковки. Далее продукция в разовой упаковке с «зеленой точкой» поступает через торговую сеть к потребителю. И использованную разовую упаковку выбрасывают в контейнеры дуальной системы. Установка и вывоз, складирование и переработка разовой упаковки в исходное сырье финансируется дуальной системой. Исходное сырье возвращается на предприятия-изготовители тары.

Дуальная система впервые была введена в Германии в 1990 г., во Франции и Австрии – в 1993 г., в Бельгии – в 1994 г., в Люксембурге – в 1995 г., в Испании – в 1996 г., в Португалии – в 1997 г., в Ирландии – в 1998 г., в 2000 г. одновременно в Чехии, Латвии и Норвегии, в 2001 г. – в Венгрии, Швеции, Канаде, в 2002 г. – в Польше и Греции.

В 2000 г. через дуальную систему удалось собрать 95 % алюминиевой упаковки, помеченной «зеленой точкой», 67 % тетрапака, 93 % пластика, 91 % стекла. Бумаги и консервных банок собрано больше, чем было помечено «зеленой точкой», очевидно, из-за того, что в контейнеры дуальной системы попала тара не помеченная «зеленой точкой».

1.10.2.2. Система сбора ТБО

Сбор ТБО осуществляется раздельно. Не допускается смешение различных видов отходов.

Система сбора включает в себя контейнеры, отличающиеся по цвету, устанавливаемые у каждого дома и предназначенные для раздельного складирования бумаги, металла, пластика, органических и остаточных отходов. Бумага и картон складываются, как правило, в контейнеры синего цвета, стекло и керамика – зелёного, упаковка и консервные банки – жёлтого, органические отходы – коричневого, остаточные – серого.

Строительные, садово-парковые и крупногабаритные отходы вывозят по отдельным заявкам по мере их образования.

Упаковка, маркированная знаком «зелёная точка» (рис. 1.13) собирается в контейнеры дуальной системы:

- жёлтые – для сбора металлических банок, пакетов из тетрапака, пластиковых бутылок и упаковок, крышек и фольги;
- синие – бумажных и картонных упаковок;
- контейнеры, имеющие три отдельных отсека для сбора стеклянных бутылок и банок раздельно белого, зелёного и жёлтого цвета.

Объём контейнеров колеблется в пределах от 0,06 до 1,1 куб.м. Необходимый объём контейнера для каждой фракции ТБО определяет владелец отходов, который подаёт заявку на их установку в уполномоченное предприятие. Объём определяется исходя из прогнозируемого накопления каждого вида отходов при условии еженедельного вывоза.

Раздельный сбор ТБО населением стимулируется экономическими методами. Стоимость вывоза серого контейнера (с остаточными отходами) выше, чем контейнеров с другими видами отходов. Если в каком-либо контейнере для сбора отходов их морфологический состав не соответствует установленным требованиям раздельного сбора, они удаляются по тарифам остаточных.

В некоторых городах решением муниципалитетов определяется минимальный объём образования отходов (исходя из норм образования), вывоз которых необходимо оплачивать. За вывоз отходов с «зеленой точкой» (рис. 1.13.) владелец земельного участка не платит, если они складываются в контейнеры дуальной системы в соответствии с установленными требованиями.

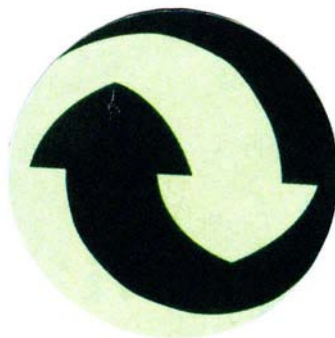


Рис. 1.13 – Знак «зеленая точка»

(вверху – салатная, внизу – темно-зеленая стрелка)

1.10.2.3. Транспортировка, перегрузка, сортировка ТБО

Транспортировка ТБО осуществляется специально оборудованными автомобилями грузоподъемностью 6-10т. Такой автомобиль обслуживается, как правило, бригадой из трёх человек. В Берлине один мусоровоз обслуживает в среднем 6800 человек; в Нюрнберге – 8500; в Потсдаме – 9200.

Для удешевления транспортировки отходов в крупных городах оборудуют станции перегрузки в автомобили большей грузоподъемности. При перегрузке ТБО обычно уплотняют, из них извлекают ресурсно-ценные компоненты. Для этого используют методы ручной сортировки в процессе движения ТБО на транспортёрной ленте, электромагнитной, воздушной сепарации, просеивания через сита с различным размером ячеек.

Схема работы мусороперегрузочной станции приведена на рис. 1.14. Владелец отходов может вывозить ТБО самостоятельно и сдавать их во двор рециклирования (рис. 1.15). Двор рециклирования отходов представляет собой автомобильный проезд с размещёнными вдоль него большегрузными контейнерами для складирования различных видов отходов, в том числе для приёма стекла, бумаги, электробытовой техники, мебели, гальванических элементов, ртутьсодержащих приборов, красок, садово-парковых, строительных, остаточных отходов.

Дежурный на въезде во двор рециклирования осматривает доставленные отходы и даёт указания по порядку их выгрузки и складирования, в оговоренных правилах случаях оформляет платёжные документы и взимает плату за их размещение.

Большинство дворов рециклирования имеют в своём составе мастерскую по ремонту и предпродажной подготовке и магазин по реализации восстановленной, бывшей в употреблении бытовой техники и других изделий. Часть этих изделий передаётся безвозмездно нуждающимся в качестве гуманитарной помощи.

Большая часть собранных отдельно компонентов ТБО отправляется на переработку и в дальнейшем находит применение как вторсырьё.

Дворы рециклирования позволяют существенно сократить объём отходов, предназначенных для захоронения на полигонах.

В Нюрнберге в 2001г. действовало семь дворов рециклирования. Они принадлежали общественной организации «Красный крест». За год здесь было принято около 46 тыс.т отходов. Их услуги оплачивал муниципалитет в соответствии с объёмом принятых отходов за счёт отчислений от платежей населения за удаление остаточных отходов (серый контейнер).

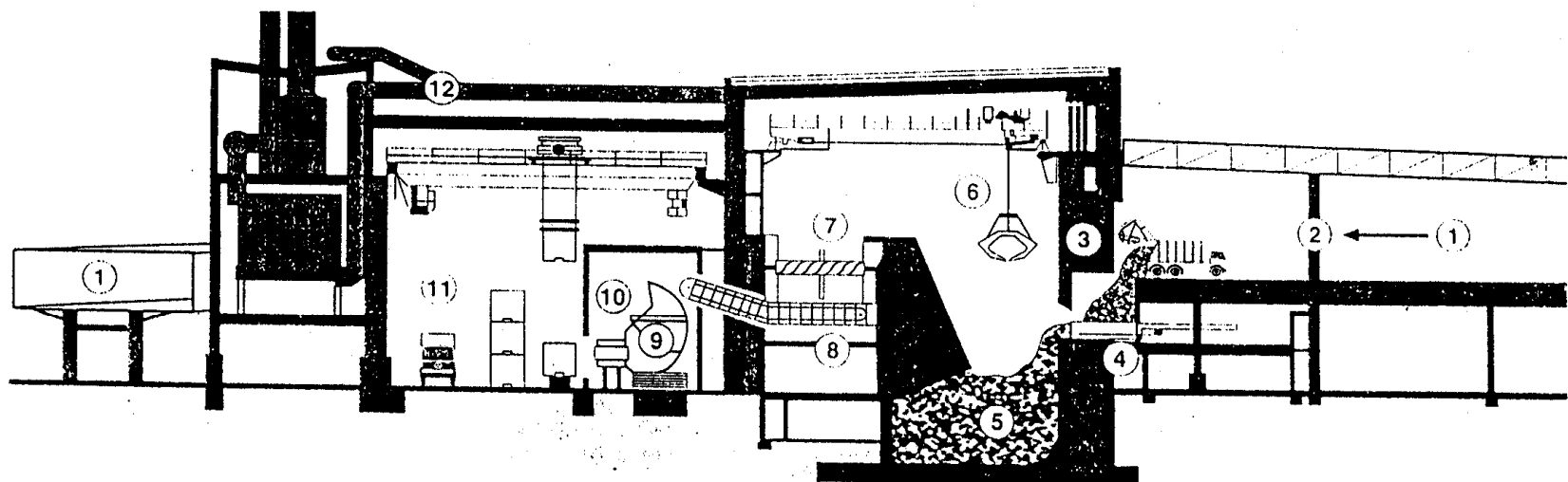


Рис. 1. 14 – Схема работы мусороперегрузочной станции:

1 – площадка для доставки отходов; 2 – площадка разгрузки; 3 – приемная воронка; 4 – заслонка; 5 – бункер для сбора отходов; 6 – грейферный кран; 7 – движущаяся лопатка; 8 – дозировочная лопатка; 9 – весы; 10 – пресс; 11 – контейнер; 12 – система отвода и очистки аспирационного воздуха



Рис. 1.15 – Двор рециклирования отходов в Берлине. Контейнеры для сбора отслужившей электробытовой техники

1.10.2.4. Переработка и извлечение ресурсно-ценных компонентов ТБО

Переработке подлежат строительные, органические отходы, стекло, пластмасса, бумага и многое другое.

Завод по переработке строительных отходов принимает отходы, образуемые в результате ремонтно-строительных работ и сноса ветхих строений (кирпич, бетон, древесина), ремонта дорожного покрытия (асфальт), выработавшие свой ресурс рельсы и шпалы, шлак мусоросжигательных и металлургических заводов.

На первом этапе крупные фракции строительных отходов измельчают. Для этого используют трактор, оснащённый гидравлическими тисками, смонтированными на конце стрелы, а затем вращающуюся мельницу барабанного типа.

Измельчённые отходы подают на транспортёрную ленту, с которой по мере их движения извлекают металл и дерево.

Металлолом реализуют металлургическим предприятиям, а дерево – котельным и электростанциям, работающим на твёрдом топливе. Осколки кирпича, бетона, шлака и щебень просеивают через сита и получают щебень крупной, средней, мелкой фракции и песок, который реализуют дорожно-строительным и промышленно-строительным предприятиям.

Станция по компостированию органических отходов имеет две технологические линии: по компостированию садово-парковых и пищевых отходов.

Технология компостирования садово-парковых отходов предусматривает их складирование в бурты высотой до двух метров на площадке с твёрдым покрытием. Организовано их периодическое увлажнение поливальными машинами. Периодичность, норма полива и время компостирования определяются в зависимости от температуры атмосферного воздуха и интенсивности осадков. За период компостирования бурты садово-парковых отходов дважды перелопачиваются и перекалдываются специальным трактором (рис. 1.16).

Средний срок компостирования садово-парковых отходов на станции компостирования в Нюрнберге составляет 13 недель.

После этого они просеиваются через специальные сита (рис. 1.17, 1.18). При этом извлекаются посторонние примеси (пластиковая упаковка, разовая посуда) и крупные несгнившие фракции. Посторонние примеси удаляют, а крупные фракции дробят и повторно компостируют.

Пищевые отходы на первой стадии переработки проходят через ленточный транспортёр, где извлекают посторонние примеси, а затем компостируют в подземном железобетонном бункере, изолированном от окружающей среды во избежание распространения неприятных запахов. Вентиляционный воздух на выходе из бункера проходит очистку в биофилтре, состоящем из опилок, ветвей деревьев, увлажнённых активным илом (рис. 1.19). Температура очищаемого воздуха внутри биофилтра повышается до 40 °С.

Полученный компост реализуют для нужд садово-паркового хозяйства, производителям сельхозпродукции.

За приём отходов на станцию компостирования взимается плата 45–150 евро/т, компост продают по цене 3-20 евро/т.

Переработка отходов стекла осуществляется по следующей схеме.

Предприятие по подготовке отходов стекла принимает от дуальной системы раздельно собранное белое, зелёное и жёлтое стекло. Автоматическая линия по подготовке вторсырья из стекла разделена на три технологических цепочки отдельно для каждого цвета стекла. При движении по ним стекло дробится, отделяются случайно попавшие посторонние предметы, фракции стекла другого цвета и органические примеси (бумага этикеток). Используются методы воздушной и оптической сепарации. Затем стекло направляется как вторсырьё на предприятие по изготовлению стеклянной тары.

Доля вторсырья при производстве новой стеклянной тары достигает 60%.

Отходы пластмасс измельчают, моют и гранулируют. Вторсырьё используют для производства изделий, не имеющих непосредственного контакта с пищевыми продуктами (ограждения, садовая мебель).



Рис. 1.16 – Бурты компостированных садово-парковых отходов



Рис. 1.17 – Установка обработки компоста на станции компостирования садово-парковых отходов в г. Нюрнберге (ФРГ). Осуществляет операции просеивания компоста и извлечения из него крупных фракций и посторонних предметов



Рис. 1.18 – Установка обработки компоста на станции компостирования садово-парковых отходов в г. Лионе (Франция). Осуществляет операции просеивания компоста и извлечения из него крупных фракций и посторонних предметов



Рис. 1.19 – Биофильтр для очистки аспирационного воздуха установки компостирования пищевых отходов

1.10.2.5. Мусоросжигательные заводы

Термическое обезвреживание отходов осуществляется на мусоросжигательных заводах. В ФРГ на них направляется около 40% подлежащих удалению отходов. В обязательном порядке сжигаются особые виды отходов, не подлежащие захоронению, такие как медицинские, растворители лаков, красок. Большинство процессов на мусоросжигательных заводах автоматизировано. Предприятие производительностью 200 тыс.т/год отходов имеет 75 – 90 чел. работающих. Стоимость приема 1 т отходов составляет около 120 евро. В случае приема особых видов отходов стоимость увеличивается до 350 евро. Предприятие, как правило, не нуждается в дополнительных источниках энергии. За счет теплоты сжигания отходов вырабатывается пар или электроэнергия. Выработка пара достигает 3 т на 1 т отходов. Схема мусоросжигательного завода приведена на рис. 1.20.

Сжигание осуществляется на наклонной решетке или во вращающейся печи. Максимальная температура сгорания 1200 – 1400 °С. Отходы накапливаются в приемном бункере и подаются на сжигание грейферным краном. Физическое тепло продуктов сгорания утилизируется в паровом котле. Затем продукты сгорания проходят многоступенчатую очистку, включающую электрофильтр для улавливания твердых частиц, абсорбер, использующий в качестве абсорбента известковое молоко и улавливающий пары кислот. В известковое молоко иногда добавляют активированный уголь для поглощения паров ртути, диоксинов, радиоактивных веществ. В качестве III ступени применяют рукавный фильтр из иглопробивного фетра на тефлоновой основе для тонкой очистки продуктов сгорания. В последнее время начали применять IV ступень – каталитическую очистку от NO_x.

Контролю подлежат до 20 выбрасываемых в атмосферный воздух веществ. Контроль осуществляется автоматически круглосуточно. Во избежание неприятных запахов от неорганизованных источников выбросов аспирационного воздуха из мусороприемного бункера он поддерживается под небольшим разрежением и отводится в камеру сгорания для обеспечения процесса горения.

Шлак охлаждают водой. Концентрированный фильтрат вывозят на полигон.

Пыль из бункера электрофильтра и рукавного фильтра вывозят на полигон по захоронению опасных отходов.

1.10.2.6. Полигоны по захоронению ТБО

Захоронение отходов производят на специально оборудованных полигонах. Оборудование полигона предусматривает:

- противофильтрационный экран;
- систему сбора и очистки (удаления) фильтрата;
- систему сбора биогаза;

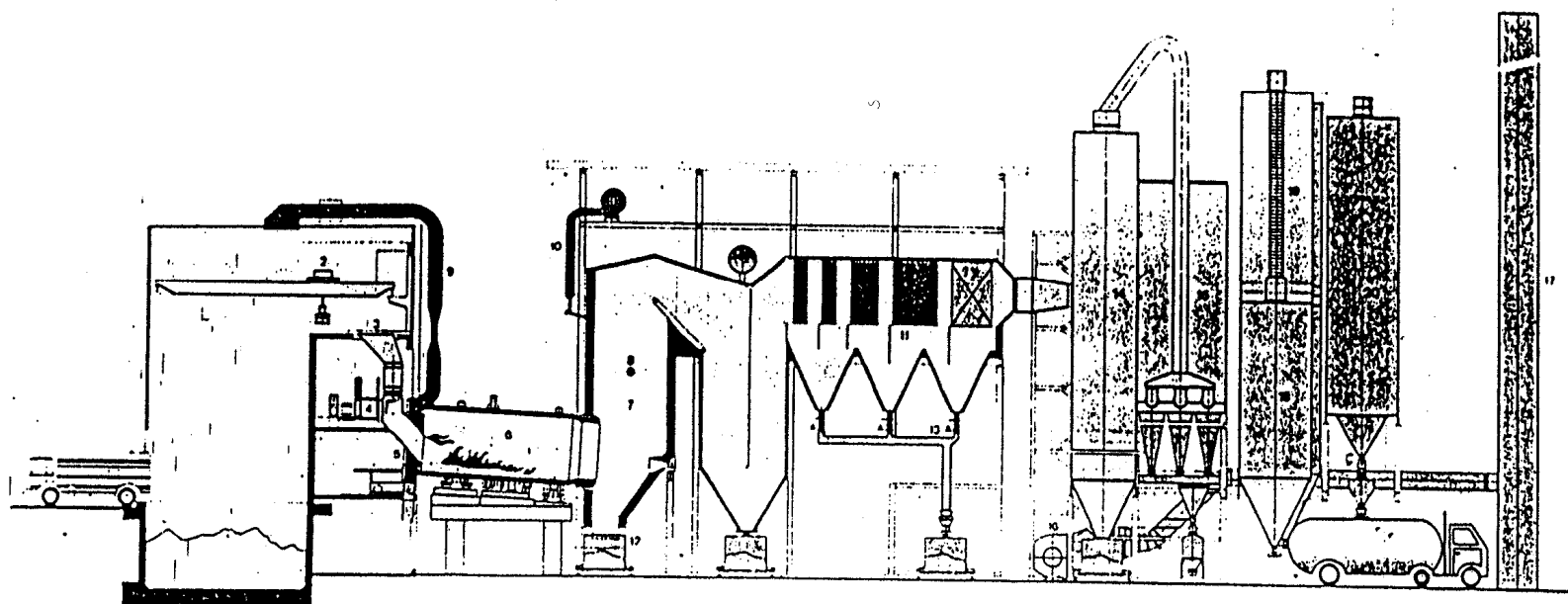


Рис. 1.20 – Схема мусоросжигательного завода:

- 1- бункер для сбора отходов; 2 – грейферный кран; 3 – приемная воронка; 4 – емкость для сбора жидких отходов; 5 – газовая горелка;
 6 – вращающаяся печь; 7 – камера дожигания; 8 – газовая горелка; 9 – газоход аспирационного воздуха из приемного бункера;
 10 – дополнительная подача атмосферного воздуха; 11 – система улавливания золы; 12 – выгрузка шлака; 13 – выгрузка золы; 14 – абсорбер;
 15 – рукавный фильтр; 16 – вентилятор для отвода продуктов сгорания; 17 – дымовая труба; 18 – газовая камера; 19 – газгольдер

- энергоустановку для использования биогаза (газовая турбина или генератор);
- уплотнение слоя складированных отходов;
- рекультивацию полигона по мере его заполнения;
- систему контроля воздействия на состояние окружающей природной среды, прежде всего, на грунтовые воды.

Оборудование полигонов противифльтрационными экранами началось в начале 80-х годов. До этого полигоны размещались в выработанных карьерах песка, глины, имеющих естественную гидроизоляцию. В настоящее время эксплуатируется большое количество полигонов, имеющих старую заполненную часть без гидроизоляции и новую, заполняемую с гидроизоляцией.

Гидроизоляция представляет собой многослойное сооружение, состоящее из слоя утрамбованной водоупорной глины, слоя песка, полиэтиленовой пленки и на ней слоя песка и щебня. Над гидроизоляцией размещают систему сбора фильтрата.

На полигоне ТБО в г. Нюрнберге фильтрат предварительно очищают методом коагуляции с последующим осаждением, а затем сбрасывают в систему канализации.

На полигоне в г. Берлине для очистки фильтрата применяют метод осмоса. Далее 60 % воды используют на технические нужды (увлажнение защитного слоя почвы полигона), а 40 % – выпаривают. Сухой остаток удаляют на полигон опасных отходов.

В странах с более теплым климатом (Испания) до 100 % фильтрата используют для увлажнения защитного слоя почвы полигона (рис. 1.21).

Оборудование полигонов системами сбора биогаза началось в 80-х годах. Для добычи биогаза в теле полигона бурят скважины, в которых вертикально устанавливают перфорированные трубы. Скважины объединяют общим коллектором. Биогаз содержит 40 – 55% метана, что позволяет использовать его в качестве топлива.

На полигоне в г. Галленбасе при объеме захороненных отходов 2,5 млн. м³ с площади 15 га из 52 скважин добывают до 2000 м³/ч биогаза. На полигоне в г. Нюрнберге (ФРГ) при объеме захороненных отходов 800 000 м³ добыча биогаза составляет 80 – 100 м³/ч.

Биогаз используют в турбогенераторных установках для получения электроэнергии или в котельных с целью получения пара.

На полигоне в г. Шенайхе в течение года вырабатывают до 7,5 млн. кВт/ч электроэнергии, используя 123 скважины добычи биогаза из 27 млн.т захороненных отходов, в г. Нюрнберге – 1 млн. кВт/ч, в г. Галенбасе – 4,9 млн. кВт/ч.

С целью уменьшения занимаемого объема складированные отходы уплотняют с помощью специального тяжелого трактора (компактора). Плотность отходов после уплотнения достигает 1т/м³. Если ТБО смешаны со строительными отходами, их плотность может достигать 1,35 т/м³.

Складированные отходы ежедневно засыпают слоем суглинка толщиной 0,1 – 0,2 м. Толщина уплотненного слоя захороненных отходов достигает 2 м. По мере заполнения полигона производят его рекультивацию (рис.1.22). При рекультивации насыпают слой суглинка, песка, полиэтилена и плодород -

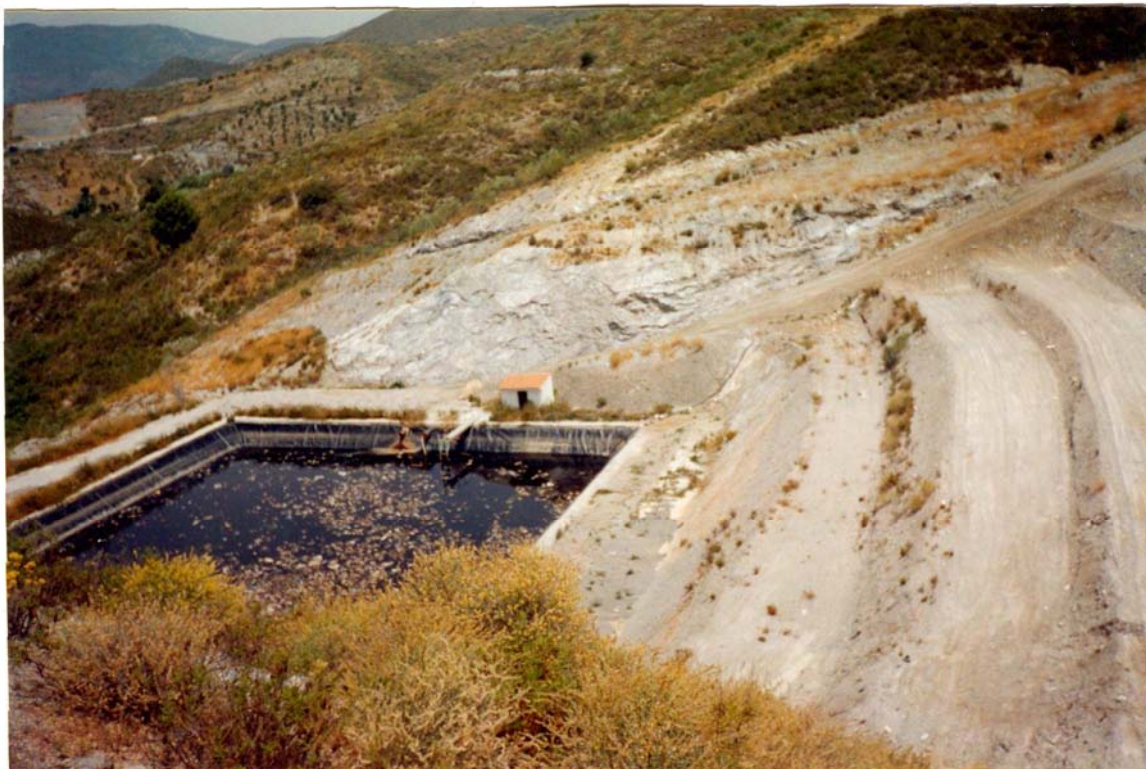


Рис. 1.21 – Полигон по захоронению ТБО с бассейном для сбора фильтрата в провинции Гранада (Испания). Накопившийся фильтрат используют для орошения слоя изолирующего грунта полигона



Рис. 1.22 – Уплотнение и засыпка защитного слоя суглинка на полигоне в ФРГ
(слева виден слой гидроизолирующей полиэтиленовой пленки)

ной почвы мощностью до 2 м. Для защиты от эрозии используют травянистую и древесно-кустарниковую растительность, не имеющую глубокой корневой системы.

На всех полигонах организован мониторинг состояния водоносного горизонта. Отбор проб подземных вод производится ежеквартально из 30 – 40 скважин вокруг полигона.

На полигоне в г. Галленбасе по результатам мониторинга установлено загрязнение грунтовых вод. Для их сбора и откачки оборудована специальная траншея перехвата грунтовых вод расходом 15-20 м³/ч. Имеют место отдельные случаи загрязнения грунтовых вод и на других полигонах.

Большинство технологических процессов на полигонах автоматизированы. Полигон в г. Шенайхе, принимающий в год 250 тыс. т отходов, обслуживают 25 работников, в г. Воркетзине с 1450 тыс.т отходов – 20 человек непосредственно на полигоне и 9 человек – на линии по извлечению ресурсно-ценных компонентов.

Стоимость приёма отходов на полигонах в 2 – 2,5 раза ниже, чем на мусоросжигательных заводах и составляет 50 – 75 евро/т.

Большинство полигонов, на которых организована добыча биогаза, не нуждаются в дополнительных источниках энергии, поэтому часть ее продают на сторону.

Вопросы для самопроверки

1. Что обозначает понятие «нормы накопления»? Виды расчетных единиц норм накопления.
2. Плотность и компрессионные свойства ТБО.
3. Аэробное обеззараживание ТБО методом компостирования.
4. Аэробное обеззараживание ТБО в биотермических барабанах мусороперерабатывающих заводов.
5. Методы извлечения цветных и черных металлов из ТБО.
6. Методы извлечения балластных включений из ТБО.
7. Способы защиты грунтовых и поверхностных вод при строительстве полигонов ТБО.
8. Способы защиты атмосферы от вредного воздействия биогаза при строительстве полигонов ТБО.
9. Термические методы обеззараживания ТБО.
10. Обеззараживание ТБО глубоким прессованием.
11. Понятия о валовом и селективном сборе ТБО.
12. Типы мусоровозов, используемых для сбора и транспортировки ТБО.

Раздел 2. Применение полимерных материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве города

2.1. Основные направления использования полимеров в народном хозяйстве

В настоящее время материалы органического синтеза в той или иной мере используются практически во всех сферах человеческой деятельности, причем номенклатура полимеров и объем их использования непрерывно возрастают. В 2000 г. мировое производство пластмасс превысило 200 млн. т/год. Ежегодный прирост производства полимерных материалов в различных странах составляет от 5 до 20 %. Это обусловлено целым рядом преимуществ, которые обеспечивает использование полимеров взамен металла, керамики, дерева и других природных материалов, а именно:

- резким повышением производительности труда;
- снижением объема необходимых инвестиций на оборудование;
- существенным увеличением возможностей для конструкторских решений;
- снижением веса изделий;
- улучшением эксплуатационных свойств изделий;
- упрощением и облегчением сборки.

Следствием технологических преимуществ применения полимеров являются положительные экономические результаты:

- повышение конкурентоспособности производителя изделия;
- увеличение его прибыли;
- упрочение его положения на рынке.

Основные направления применения полимерных материалов в народном хозяйстве Украины представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Полимерные материалы в народном хозяйстве

Сфера деятельности	Основные объекты и направления применения
1	2
Горное дело, газо-, нефтедобыча	Газонефтепромысловое оборудование, горное машиностроение, крепление скважин и т.д.
Автоматика и радиоэлектроника	Оборудование, полупроводники, голография, вычислительная техника, лаки, эмали и т.д.
Технология металлов, машиностроение и приборостроение	Узлы трения, подшипники скольжения, технологические процессы обработки металлов и т.д.

1	2
Кабельная промышленность	Защитные оболочки, изоляция проводов и кабелей и т.д.
Химическая и нефтехимическая промышленность	Конструкции, оборудование, лаки и эмали, стойкие в агрессивных средах, и т.д.
Пищевая промышленность	Упаковка изделий хлебопечения, кондитерских изделий, пищевых продуктов, завтраков и т.д.
Легкая промышленность	Конструкции, оборудование, лаки, швейные изделия, подошвы, набойки, кожгалантерейные изделия и т.д.
Строительство	Кровельные, теплоизоляционные, гидроизоляционные, вентиляционные материалы, полы, террасы, самоклеющиеся пленочные материалы, полимерные добавки для повышения долговечности бетона, трубы, облицовочные плитки, стенные, дверные блоки и т.д.
Железнодорожный транспорт	Конструкции подвижного состава, контактная сеть, конструкции железнодорожного пути и т.д.
Магистральный трубопроводный транспорт	Трубы, обмотки магистральных газо-, нефтепроводов, нефтепродуктопроводов, повышение прочности и теплостойкости нефтебитумных материалов, подготовка дна траншей и т.д.
Автомобилестроение и дорожное строительство	Покрытие автомобильных дорог, внутренний интерьер автомобилей, бамперы, топливные системы, автомобильные разъемы, трубки, патрубки, шланги для систем отопления и торможения, стеклоочистители и т.д.
Авиационная промышленность, судостроение и ракетостроение	Конструкции, оборудование, окраска ответственных транспортных средств, защита мостов, портов и гидротехнических сооружений и т.д.
Сельское хозяйство	С/х машиностроение, регулирование микроклимата в садоводстве и овощеводстве, хранение плодов и овощей и т.д.
Мелиорация и водное хозяйство	Дренаж грунтовых и дождевых вод, напорные и безнапорные трубы, грунто-пленочные противofiltrационные экраны, системы капельного и подпочвенного орошения, трубы и конструкции траншейного и бестраншейного дренажа, герметизирующие материалы и т.д.
Медицина	Имплантаты, периферические устройства (дренажи, трубки, фильтрующие элементы), перчатки, элементы оборудования, устройства для репродукции клеток и тканей, материалы и т.д.

1	2
Фармация	Инструменты, оборудование, материалы, функциональные элементы биохимического анализа и биохимического синтеза и т.д.
Военное дело	Конструкции, оборудование, приборы и т.д.
Спорт	Спортивный инвентарь (ласты, ролики, маски, наколенники и др.), спортивные снаряды, тренажеры, оборудование спортивных залов, открытых площадок и т.д.
Тара и упаковка	Тара для фасованных веществ, сыпучих веществ, емкости для едких жидкостей, гибкая и выдувная тара, упаковка сигарет, завтраков, кондитерских и хлебобулочных изделий, жевательной резинки, супов быстрого приготовления, одноразовая посуда, этикетки и т.д.

Из всего количества производимых пластических материалов (термопластов и реактопластов) около 40% идет на производство упаковочных материалов, почти 30% - на изготовление различных пленок, 5% - в мебельную промышленность, 3% - в автомобилестроение, остальные 22% используются в качестве конструкционных материалов. Наибольшее количество пластмасс производится в США. Крупнейшими производителями среди стран ЕЭС являются Германия (около 35%), Италия (18%), Франция (14%), Англия (13%). Наиболее динамично развивающимся рынком термопластов является рынок полипропилена, который в последние 30 лет сохранил наиболее высокие и устойчивые темпы роста. Специалисты прогнозируют, что в 2004 г. мировое потребление полипропилена составит почти 36 млн.т.

Все многообразие производимых полимерных материалов принято подразделять на три больших класса:

I – полимерные материалы общетехнического назначения (полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид и др.), мировое производство которых достигает десятков миллионов тонн в год;

II - материалы инженерно-технического назначения – полиамид, поликарбонат, полиацетали и др.;

III - суперконструкционные материалы (полисульфон и его модификации, полифениленсульфид, полиэфиримиды и др.).

Рост и расширение производства полимеров, особенно полимерных материалов II группы, является признаком высокого уровня развития государственной экономики.

2.2. Полимерные материалы в городском хозяйстве

Многоотраслевое хозяйство крупного города, обеспечивающее жизнедеятельность людей на достаточном уровне комфортности, включает целый комплекс организаций и предприятий. В структуре городского хозяйства около 75% фондов приходится на жилищно-коммунальное хозяйство, составляющего основу социальной сферы жизни людей: здания и сооружения, водозаборы, водопроводные очистные сооружения, водопроводные сети, канализационные очистные сооружения, канализационные сети, насосы, хлораторы, фильтры, берегоукрепляющие сооружения, подземные емкости для сжиженных газов, газгольдеры, газопроводы и др. Оно не может развиваться без создания и внедрения новой технологии, оборудования и материалов, подготовки высококвалифицированных кадров.

В городском строительстве и хозяйстве широко используются различные полимерные материалы. Среди них термопласты, к которым относятся полиэтилены высокого и низкого давления, полипропилен, поливинилхлорид, пентапласт, фторопласты, полистирол, поликарбонат, полиамиды и др.; реактопласты, к которым принадлежат эпоксидные смолы, фенолпласты, аминопласты и др.

Термопластические полимерные материалы характеризуются высокой химической стойкостью, низким водопоглощением и устойчивостью к действию органических растворителей, незначительной диффузионной проницаемостью, эластичностью, высокими теплофизическими свойствами и надежностью в эксплуатации.

2.2.1. Строительство

К основным направлениям использования полимерных материалов в городском строительстве относятся:

- утепление строений с помощью ограждающих конструкций;
- теплоизоляция и гидроизоляция;
- отделка помещений;
- усиление строительных конструкций;
- повышение долговечности бетона;
- склеивание бетона с бетоном и другими материалами;
- производство и ускорение ремонтных и строительных работ;
- восстановление и повышение несущей способности элементов конструкций зданий и сооружений при их ремонте и реконструкции;
- улучшение свойств строительной древесины;
- устройство и ремонт кровли;
- устройство монолитных бесшовных полов и др.;
- антикоррозионная защита;
- установление вкладышей в стеновых блоках, которые позволяют уменьшить металлоемкость весовых конструкций зданий при улучшении теплоизоляционных свойств и др.

Полимерные материалы применяют в строительстве жилых зданий, производственных цехов, складских и торговых зданий, спортивных залов, плавательных бассейнов и др. Особенно широко в жилищно-гражданском и промышленном строительстве полимеры используют в качестве гидроизоляционных и герметизационных материалов.

Рулонные (пленочные) полимерные материалы используют для устройства кровли из сборных ковров в жилых и промышленных зданиях. Пленочные полимерные материалы, в том числе самоклеющиеся, которые обладают повышенной технологичностью, изготавливают на основе термопластов.

Для ремонта и устройства безрулонной кровли, а также гидроизоляции строительных конструкций применяют дисперсные (жидкие) кровельные материалы – мастики. Эти материалы, обладающие повышенной атмосферо-, кислото- и щелочестойкостью, предназначены для устройства и ремонта кровли, наружной гидроизоляции, в том числе подвергающихся воздействию агрессивных сред при температуре от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$.

Для герметизации стыков полносборных зданий и сооружений в строительстве используют мастики и ленты. Срок службы полимерных прокладок, предназначенных для герметизации стыков открытого и закрытого типов в строительстве крупнопанельных зданий, в три раза выше, чем у аналогов. Они характеризуются улучшенными упругоэластичными свойствами, а также повышенной атмосферо- и морозостойкостью.

Повышенными адгезионными свойствами обладают силиконовые герметики, предназначенные для герметизации стыков между элементами из стекла, керамики и металла.

Для гидроизоляции и химической защиты конструктивов, подвергающихся агрессивному воздействию, применяется гидрофобизация бетона и кирпичей путем нанесения слоя полимерных материалов или выравнивающих слоев значительной толщины. Разработаны и внедрены различные эпоксидно-полиуретановые составы для устранения трещин в бетоне и придания ему высокой химической стойкости и износостойкости.

2.2.2. Теплоизоляция

Одним из важных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является минимизация тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, сооружений, технологического оборудования, топливопроводов. Наиболее эффективный способ сокращения тепловой энергии – качественная тепловая изоляция. Независимо от применяемых конструктивных и технологических решений обязательным условием для устройства эффективной тепловой изоляции является применение легких, долговечных, экологически безопасных утеплителей. Наиболее перспективными теплоизоляционными материалами являются пенопласты (в том числе трудновозгораемые): пенополиуретан, пенополистирол, пенополиизоцианураты, пенофенопласты. С целью повышения прочности и теплостойкости полимерами модифицируют также нефтебитумные материалы.

Теплоизоляция из полимерных материалов, предназначенная для конструк-

ций зданий, сооружений и промышленного оборудования, эффективна при использовании на сложных криволинейных поверхностях. Кроме того, она дает возможность отказаться от асбестовой напыляемой теплоизоляции, т.е. является экологически намного безопасней. Она выполняется в виде:

- теплоизоляционного покрытия (битумопермита);
- теплоизоляционной плиты (вспученного пермита и вяжущего).

Широкое применение для теплоизоляции пенополиуретана обусловлено тем, что коэффициент теплопроводности этого материала значительно меньше, чем других теплоизоляционных композиций, поэтому его теплоизоляционные свойства существенно выше. Плиты из пенополиуретана используют для теплоизоляции покрытий, стен, перегородок, перекрытий. Кроме плит применяют трехслойные элементы со средним теплоизоляционным слоем из пенополиуретана и обшивками из профилированных металлических листов, гипсокартонных, фиброцементных листов и других материалов. Эти конструкции используют в любых климатических условиях, в зданиях и сооружениях различного назначения, включая одно- и многоэтажные здания, выставочные помещения, спортивные сооружения и др. Сендвич-панели с наружными слоями из стальных листов и с теплоизоляцией из пенополиуретана используют в качестве наружных теплоизоляционных фасадных элементов

Вспенивающиеся пенополиуретановые композиции применяют в качестве опалубочной матрицы декоративных бетонных элементов, при изготовлении формованных изделий из пенопластов, ячеистых и компактных эластомеров и покрытий.

Жесткий интегральный пенополиуретан используют для изоляции низкотемпературных котлов, труб и коллекторов (с целью снижения потерь от теплового излучения и потребления энергии), встроенных в пол нагревательных элементов с паронепроницаемыми наружными слоями. Его применяют при изготовлении элементов для перегородок сантехнических кабин, холодильных камер, в качестве кабельных муфт, наружной бесшовной изоляции складских емкостей, устойчивых к истиранию бесшовных покрытий полов. Этот материал устойчив к температурным и атмосферным воздействиям, поэтому его используют для кровельных водостоков и стабильных оконных переплетов, не требующих утепления.

2.2.3. Жилищно-коммунальное хозяйство

Полимерные материалы наиболее широко применяются в следующих конструкциях (элементах конструкций), сооружениях и системах коммунального хозяйства:

- технологическое оборудование;
- газотрубопроводы;
- водопроводные и канализационные трубы;
- пористые трубчатые аэраторы;
- скребки для горизонтальных отстойников;
- дренажно-распределительные системы зернистых фильтров для очистки оборотной воды;

- загрузка фильтров для очистки сточных вод;
- изделия санитарно-технического назначения, сантехдетали и крепеж;
- горячее водоснабжение;
- оборудование городского электротранспорта, безбалластные конструкции путей трамвая и метрополитена;
- сепараторы буксовых вагонных роликоподшипников;
- городское электроснабжение;
- дорожное строительство;
- объекты, находящиеся в условиях резкого колебания температуры;
- гидроизоляционные покрытия для защиты подземных частей зданий и сооружений от воздействия температурно-влажностного, коррозионного и других разрушающих факторов;
- теплоизоляция и герметизация городских коммуникаций (теплотрасс);
- производство волокон технического назначения;
- разовая посуда и т.д.

Руководящие материалы по свойствам и областям применения полимерных материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве включают:

- обзор классификации пластических масс;
- основные свойства и область применения основных видов пластических масс;
- рекомендации по выбору пластических масс в зависимости от их назначения;
- физико-химические свойства каждой группы пластмасс в зависимости от назначения;
- перечень наименований полуфабрикатов и поделочных материалов из пластмасс, рекомендованных к применению;
- технические требования на изготовление, правила приемки, методы контроля, маркировки, упаковки, транспортировки и хранения пластмасс.

Основные термопласты и реактопласты, применяемые проектными организациями, конструкторскими бюро и предприятиями жилищно-коммунального хозяйства Украины при изготовлении машин, приборов и оборудования, приведены в табл. 2.2. По убывающему влиянию наполнителя на техническую характеристику пластмасс их подразделили на шесть групп:

- I - с листовым наполнителем;
- II - с волокнистым наполнителем;
- III - с порошковым наполнителем;
- IV - без наполнителя;
- V - с газовоздушным наполнителем;
- VI - используются различные наполнители;
- VII - профильные поделочные изделия из пластмасс.

Назначение пластмасс в жилищно-коммунальном хозяйстве классифицируется следующим образом:

- К – конструкционные;
- Ф – фрикционные;
- АФ – антифрикционные;
- И – износостойчивые;
- ТЖ – тепложаростойкие;

Г – стойкие в интервале температур 120-150⁰С;
 Г1 - стойкие в интервале температур 150-200⁰С;
 Г2 - стойкие при температуре свыше 200⁰С;
 Э – электро- и радиотехнические;
 Э – с низкими;
 Э1 – с повышенными;
 Э2 – с высокими диэлектрическими свойствами или высокочастотные;
 М – морозоустойчивые;
 ХС – антикоррозионные или химически стойкие;
 ПЩ – допущенные к контактированию с пищевыми продуктами;
 П – для покрытия;
 ТЦ – теплоизоляционные;
 ЗЦ – звукоизоляционные;
 Л – легкие, амортизационные.

Одним из наиболее важных направлений использования полимеров в жилищно-коммунальном хозяйстве является антикоррозионная защита строительных конструкций, сооружений и оборудования, подвергающихся воздействию газообразных и жидких сред средней и сильной степени агрессивности. Высокая эффективность и рентабельность антикоррозионной защиты с помощью полимерных материалов обусловлена их устойчивостью к воздействию различных агрессивных сред, значительным уменьшением протяженности стыков и швов, сокращением затрат ручного труда и продолжительности ремонтных работ. В воздухе полимеры устойчивы, но прямая солнечная радиация, температура, микроорганизмы могут вызвать растрескивание этих материалов.

Таблица 2.2 – Области применения пластических масс на предприятиях жилищно-коммунального хозяйства

Вид пласт-масс	Условное обозначение технической характеристики	Наименование материала	Назначение	Области применения
1	2	3	4	5
Реакто-пласты	Кл. I – Пластмассы с листовым наполнителем	Текстолит	К, АФ, ТЖ, Э	Конструкционный антикоррозионный материал для шестерен, червячных колес, подшипников скольжения, амортизационных прокладок, вкладышей, электротехнических панелей и др. электротехнических деталей
		Гетинакс	К, АФ, Э	Электротехнический поделочный материал для радио- и телефонных деталей, высококачественных установок. Для работы на воздухе и в трансформаторном масле, для деталей, имеющих контакт с токоведущими частями, для прокладок, деталей механического сцепления и в качестве термоизоляции

Продолжение табл.2.2

1	2	3	4	5
	Кл. II – Пластмассы с волокнистым наполнителем	Стекло-текстолит	К, Э, Г, ХС	Для изготовления печатных плат
		Стекло-волокнит	К, Э, Т, ХС	Для деталей высшего класса точности любой конфигурации и габаритов с арматурой и резьбой
	Кл. III -Пластмассы с пористым наполнителем	Пресс-порошки общего назначения и с высокими электроизоляционными свойствами	К, ХС	Для деталей технического назначения с повышенной кислото- и водостойкостью, прочностью
Термопласты	Кл. IV- Пластмассы без наполнителя	Полиамиды	К, АФ, ХС, ЭИ, ЭП	Изготовление деталей, требующих высокой механической прочности, хороших диэлектрических свойств, стойкости к истиранию, абразивности, малого коэффициента трения, хорошего сцепления с металлом (втулки, вилки передач, вкладыши, подшипники, шестеренки и др. детали)
		Винипласт	К, ХС, Э	Для электроизоляции в качестве антикоррозионного и конструкционного материала для деталей, работающих при температуре от 0 до +40 ⁰ С (под нагрузкой) и от 0 до +60 ⁰ С (без нагрузки). Детали химической аппаратуры, тара, футеровка
		Стеклоорганические	К, ХС, Э	Остекление, приборостроение, изготовление изделий технического назначения
		Фторопласты	К, ХС, Т2, Э2	Высокочастотная техника в качестве диэлектрика. Изготовление уплотненных прокладок, набивок, работающих в агрессивных средах, деталей клапанов кислородных приборов, мембран, труб, шлангов, кранов, самосмазывающихся вкладышей подшипников. Защита черных металлов от воздействия агрессивных сред.
		Капрон	К, Ф, И, Э	Изготовление деталей технического назначения
		Полистирол	К, Т, ХС	Детали высокочастотной аппаратуры
		Композиции на основе эпоксидных смол	К, Т, Э	Высокопрочные клеи с различными наполнителями применяются для изготовления штампов
		Полиэтилен	К, ХС, П	Оборудование, конструкции, защита от коррозии

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5
		Полипропилен	К, ХС	Детали, элементы, конструкции, изоляционные материалы, диэлектрик
		Полиуретан	К, ХС	Детали, элементы конструкций и сооружений, звукоизоляционный, теплоизоляционный материал, устройство полов в спортивных сооружениях

Эксплуатационная надежность, долговечность и несущая способность сооружений и конструкций зависят не только от силовых нагрузок, но и от химических, электротехнических, физико-химических и биологических воздействий, влияния концентрационных, радиационных и тепловых полей.

Проблема защиты жилищно-коммунального, строительного и металлического фондов Украины от коррозии приобрела особое значение и по актуальности приближается к экологической проблеме. Ежегодно в результате коррозионного разрушения выводится из строя 2-3% всех подземных сооружений. Особенно интенсивной коррозии подвергаются стальные трубы систем городского водоснабжения. По сравнению с трубами холодного водоснабжения они менее долговечны. Даже небольшой очаг коррозии служит причиной выхода из строя всего трубопровода.

Подземные трубопроводы, в том числе газопроводы практически не подвергаются моральному износу, а срок их эксплуатации при эффективной антикоррозионной защите может достигать многих десятков лет. Следовательно, долговечность газопроводов непосредственно зависит от уровня организации противокоррозионной защиты.

Надежная противокоррозионная защита магистральных коммунальных сетей и крупногабаритных металлоконструкций – одна из основных проблем в тепловом хозяйстве. Ее кардинальное решение тормозится недостатком изоляционных материалов, технологий процессов их нанесения, отсутствием налаженного серийного производства термостабильной изоляции.

Канализационные трубопроводы и сооружения на них подвергаются воздействию специфических агрессивных сред, формируемых продуктами спонтанных микробиологических процессов, которые снижают эксплуатационную долговечность этих объектов. Так, в 60-е годы при массовом использовании бетона в строительстве канализационных сетей планируемый срок эксплуатации трубопроводов из этого конструктива составлял 50 лет. Но практический опыт свидетельствует, что на некоторых участках интенсивное разрушение бетонных трубопроводов (вплоть до обрушений со всеми выходящими отсюда негативными последствиями как экономического, так и экологического характера) наступает уже через 5 лет эксплуатации.

Полимерные химически стойкие материалы, используемые для защиты поверхности сооружений и трубопроводов, подразделяются на следующие виды: плиточные, листовые, рулонные, мастики и замазки, растворы, лакокрасочные материалы. Вид применяемого материала зависит от конструкции защищаемого сооружения и условий его работы.

Полимерные материалы наносят путем наплавления или в виде суспензии в органическом растворителе путем распыления. Бетон и железобетон защищают полиэтиленовой пленкой специального профиля.

2.3. Использование полимерных материалов для повышения экологической безопасности, эксплуатационной надежности и долговечности сооружений водоотведения

2.3.1. Экологическая безопасность и эксплуатационная надежность сетей водоотведения

Экологическая безопасность для технических объектов представляет собой такое состояние системы: природа – техника – человек, которое обеспечивает сбалансированное взаимодействие природных, технических и социальных объектов, удовлетворяющих потребности жителей при сохранении природных экосистем и способности биосферы к саморегулированию. Поиск бесконфликтного существования системы человек – окружающая среда является единственной альтернативой угрозе экологического кризиса как в отдельных регионах, так и в глобальных масштабах. Обеспечение экологической безопасности технических объектов требует установления причин техногенных аварий и владения методами оценки и прогноза ожидаемых экологических ситуаций, которые обусловлены техногенными и природными факторами, изменяющимися в пространстве и времени.

Решение этой проблемы включает следующие направления:

- анализ экологических проблем (процессов) и их воздействий на окружающую среду;
- выделение источников нарушения экологической безопасности;
- определение показателей, необходимых для прогнозирования возможности возникновения неблагоприятных экологических ситуаций, оценка экологического риска;
- изучение существующих приемов предотвращения или уменьшения нарушений экологических ситуаций;
- определение значения нормативных документов в снижении экологического риска на данном объекте техносферы.

Наиболее острой проблемой экологической безопасности и эксплуатационной надежности водоотведения является коррозионное разрушение бетонных трубопроводов.

Опыт эксплуатации сетей водоотведения свидетельствует о невысокой надежности таких широко применяемых и технологичных конструкционных материалов, как бетон и железобетон. Интенсивность аварий на 1 км железобетонных трубопроводов (которые составляют около $\frac{1}{4}$ всех канализационных сетей) в год достигает 1,8, в то время как на 1 км керамических – 0,09, а на 1 км кирпичных – только 0,009. 70% аварий на этих объектах обусловлены коррозионным разрушением трубопроводов. В сооружениях

водоотведения активность микробиологической коррозии, которая поражает бетон и железобетон свода трубопроводов, многократно превосходит аналогичную характеристику в наземных сооружениях из аналогичных конструкционных материалов. Поскольку бетон и железобетон применяются как конструкционные материалы для крупномасштабных сооружений водоотведения – бассейновых и главных канализационных коллекторов, то отказы в их работе, а тем более аварии приносят не только значительный экономический и экологический ущерб в результате нарушения функционирования предприятий городского хозяйства, интенсивного загрязнения биосферы, имеющих долгосрочные экологические последствия, но и угрожают здоровью и жизни населения.

В настоящее время общая протяженность канализационных сетей Украины составляет около 34 тыс. км. В сетях преобладают трубы диаметром до 500 мм (60%), выполненные в основном из чугуна (20%) и керамики (38%). Трубопроводы больших диаметров (более 500 мм) составляют около 40% и сделаны в основном из бетона и железобетона. Более 65% канализационных трубопроводов отработали свой нормативный срок. Трубопроводы диаметром до 500 мм повреждаются в основном за счет физико-механических факторов (до 70% случаев). Трубопроводы диаметром более 500 мм подвержены коррозионным разрушениям за счет микробиологических и химических факторов.

В довольно неудовлетворительном состоянии находятся централизованные системы водоотведения, особенно участки магистральных коллекторов диаметром более 600 мм, выполненных из бетона и железобетона. Разрушению в первую очередь подвергаются участки с безнапорным режимом в зонах повышенной турбулентности водного потока (перепадные колодцы и камеры, быстротоки, повороты и т.п.), а также участки, по которым транспортируются стоки, содержащие большое количество органических веществ.

Ежегодные прямые затраты на ремонтно-восстановительные работы только за период 1985-1995 гг. составили в Украине 200 млн. рублей в ценах 1984 г., из которых 80% израсходованы на восстановление разрушенных коррозией участков.

Нормативные документы, используемые при проектировании и строительстве канализационных сетей (СНиП 2.04.03-85, СНиП 2.03.11-85), не содержат положений, определяющих эксплуатационную надежность, долговечность и экологическую безопасность канализационных трубопроводов с учетом воздействия на них особо агрессивных условий, при которых скорость коррозии может превышать 10 мм/год. В этих документах отсутствуют данные о микробиологическом факторе коррозии, происходящей в сетях водоотведения, формировании и составе специфических для этих технических объектов эксплуатационных сред и методах защиты конструктивных материалов.

2.3.2. Механизм коррозионного разрушения бетона канализационных коллекторов

Бетон – это искусственный каменный материал, полученный в результате твердения рационально подобранной смеси вяжущего, заполнителя и воды. Главной составляющей бетона является вяжущее вещество, по виду которого различают бетоны цементные, силикатные, гипсовые, шлако-щелочные, полимербетоны, полимерцементные бетоны.

Коррозионное разрушение цементного бетона самотечных коллекторов характеризуется большой скоростью и масштабностью процесса, а также специфическим видом: пораженной является только сводовая часть трубопроводов. Лотковая часть, как и трубопроводы в напорных участках сети остается совершенно неразрушенной. Прокорродировавший бетон представляет собой рыхлую серую массу, не имеющую прочности, с разрушенным цементным камнем и оголенным крупным заполнителем, следами ржавчины от арматуры (рис. 2.1, 2.2).

В настоящее время большинством отечественных и зарубежных специалистов механизм коррозионного разрушения железобетона в трубопроводах водоотведения представляется как результат микробиологической сернокислотной агрессии (микробиологической коррозии) – воздействия серной кислоты, образуемой на своде тионовыми бактериями. В целом схема образования агрессивной среды в сетях водоотведения и ее воздействие на бетон/железобетон свода коллектора состоит из нескольких этапов:

- образование сероводорода в сточной воде вследствие микробиологической сульфатредукции или других микробиологических процессов;
- выделение сероводорода из сточной жидкости в подсводовое пространство;
- растворение сероводорода в конденсатной влаге на поверхности труб и окисление его тионовыми бактериями до серной кислоты, разрушение материала строительных конструкций.

Подверженность бетона микробиологической коррозии объясняется его химическим составом, структурой и механическими свойствами: его, как и другие объекты техносферы неорганической природы, наиболее активно разрушают бактерии, образующие сильные неорганические кислоты.

Роль тионовых бактерий, окисляющих широкий круг соединений серы до сульфатов, как фактора создания агрессивных сред в техносфере очень велика. По своей окислительной активности тиобациллы могут конкурировать с процессами химического окисления сульфидов металлов, элементарной серы, сульфата закиси железа. Хотя при коррозии бетона канализационных труб тесно переплетаются химические и микробиологические процессы, но наиболее агрессивным агентом по отношению к бетону является продуцируемая тиобациллами серная кислота (коррозия II вида по классификации В.М. Москвина).



Рис. 2.1 — Разрушенный свод бетонного коллектора



Рис. 2.2 — Стандартные бетонные балочки после экспозиции на своде канализационного коллектора (слева направо: 14, 6 месяцев, контроль)

Состав микробных сообществ, развивающихся на открытых поверхностях сооружений водоотведения, не зависит от материала конструкций и материала образцов, а определяется и регулируется экологической средой, в том числе стадией коррозионного процесса. Из всех изученных эколого-трофических групп микроорганизмов самыми агрессивными по отношению к бетону являлись тионовые бактерии.

По данным исследований образцов бетона сетей водоотведения г. Харькова установлена корреляция между глубиной коррозионного поражения бетона, контролируемого показателем pH, и концентрацией в нем экстремально ацидофильных тиобацилл - *Thiobacillus thiooxidans*.

Как свидетельствуют данные химического исследования образцов бетона из сетей водоотведения, в динамике коррозионного процесса происходят активные превращения элементов, в том числе биогенных: концентрация общей серы и органического углерода возрастает, общего азота изменяется по параболической зависимости, а кальция и магния снижается.

Кроме химического коррозионного воздействия (растворения цементного камня и продуктов его взаимодействия с органогенными средами) микроорганизмы оказывают на бетон и физико-химическое воздействие. Это:

- нарушение сплошности бетона в результате расклинивающего действия веществ, адсорбированных на поверхности контакта цементного камня с заполнителем;
- трансформирование кристаллогидратов цементного камня электрофизиологической активностью микроорганизмов.

Данные рентгенструктурных исследований свидетельствуют, что образуемая тиобациллами серная кислота взаимодействует с гидроксидом и гидросиликатами кальция цементного камня и гидросиликатами материала заполнителя. При этом высокоосновные гидросиликаты кальция цементного камня переходят в менее основные (с последующим их разложением до карбонатов и кремнезема), в эттрингит, гидрокарбоалюминат, сульфат кальция (гипс) и не обладающий вяжущими свойствами кварц. Сульфат кальция имеет более высокое значение произведения растворимости, чем исходные вещества, и выщелачивается из бетона (коррозия II вида). Эттрингит за счет разности в коэффициентах расширения обуславливает появление трещин (коррозия III вида).

Интенсивность микробиологического коррозионного процесса настолько велика, что затрагивает не только цементные гидраты, но и материал заполнителя. На некоторых участках бетонных коллекторов разрушение свода, а, следовательно, аварийная ситуация, наступает через 10-15, а иногда и через 5 лет эксплуатации.

2.3.3. Генезис агрессивных эксплуатационных сред в сетях водоотведения

Анализ данных комплексного (химического, микробиологического, материаловедческого и физико-химического) обследования участков канализационных коллекторов г. Харькова и научно-технической литературы с использованием методов биогеохимии (исследования превращений и миграций, которые происходят в экосистеме не с соединениями, а с элементами) позволяет представить генезис коррозионно-агрессивных соединений в трубопроводах водоотведения.

Самотечный канализационный коллектор можно рассматривать как техногенную экосистему, которая включает три фазы: жидкую (транспортируемые сточные воды), газообразную (атмосферу коллектора) и твердую (бетон свода) и их микробиоценозы (рис. 2.3). Каждая фаза имеет свои доминирующие химические элементы и характерные соединения. В стабильную, гармоничную экологическую систему эти фазы связывают последовательные реакции биогеохимических круговоротов трех биогенных элементов – серы, углерода и азота. Главным двигателем трансформаций соединений, окисления-восстановления элементов, их миграции из жидкой фазы в газообразную, затем в твердую и из нее (частично) – в исходную жидкую являются микроорганизмы. Их видовой состав, направленность и активность биохимических реакций зависят от состава сред обитания – жидкой и твердой, а также от состава газообразной фазы. Но и микроорганизмы, в свою очередь, воздействуют продуктами своей жизнедеятельности на эти среды и кардинально их преобразовывают.

Иницилирующим звеном, запускающим всю цепь взаимодействий и взаимосвязей в экосистеме, являются микробиологические трансформации компонентов сточных вод, транспортируемых трубопроводами. Главные биогенные элементы – углерод, сера и азот попадают в экосистему канализационных коллекторов со сточными водами. Как видно из данных табл. 2.3 эти элементы присутствуют в сточных водах в соединениях различной химической природы: углерод преимущественно в органических, сера и азот – в неорганических соединениях (сульфатах и аммонийных солях). При этом концентрации углерода и серы приблизительно равны, а концентрация азота в 2-2,5 раза ниже. Необходимо отметить, что по химическому составу сточные воды не агрессивны по отношению к бетону. Загрязнения сточных вод являются питательным субстратом для многочисленных микроорганизмов, развивающихся в водной фазе экосистемы.

Микроорганизмы попадают в трубопроводы водоотведения с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами. Экологически значимыми и влияющими на техногенную безопасность сооружений водоотведения являются масштабные микробиологические процессы, которые обусловлены жизнедеятельностью эколого-трофических групп, доминирующих в микробиоценозах.

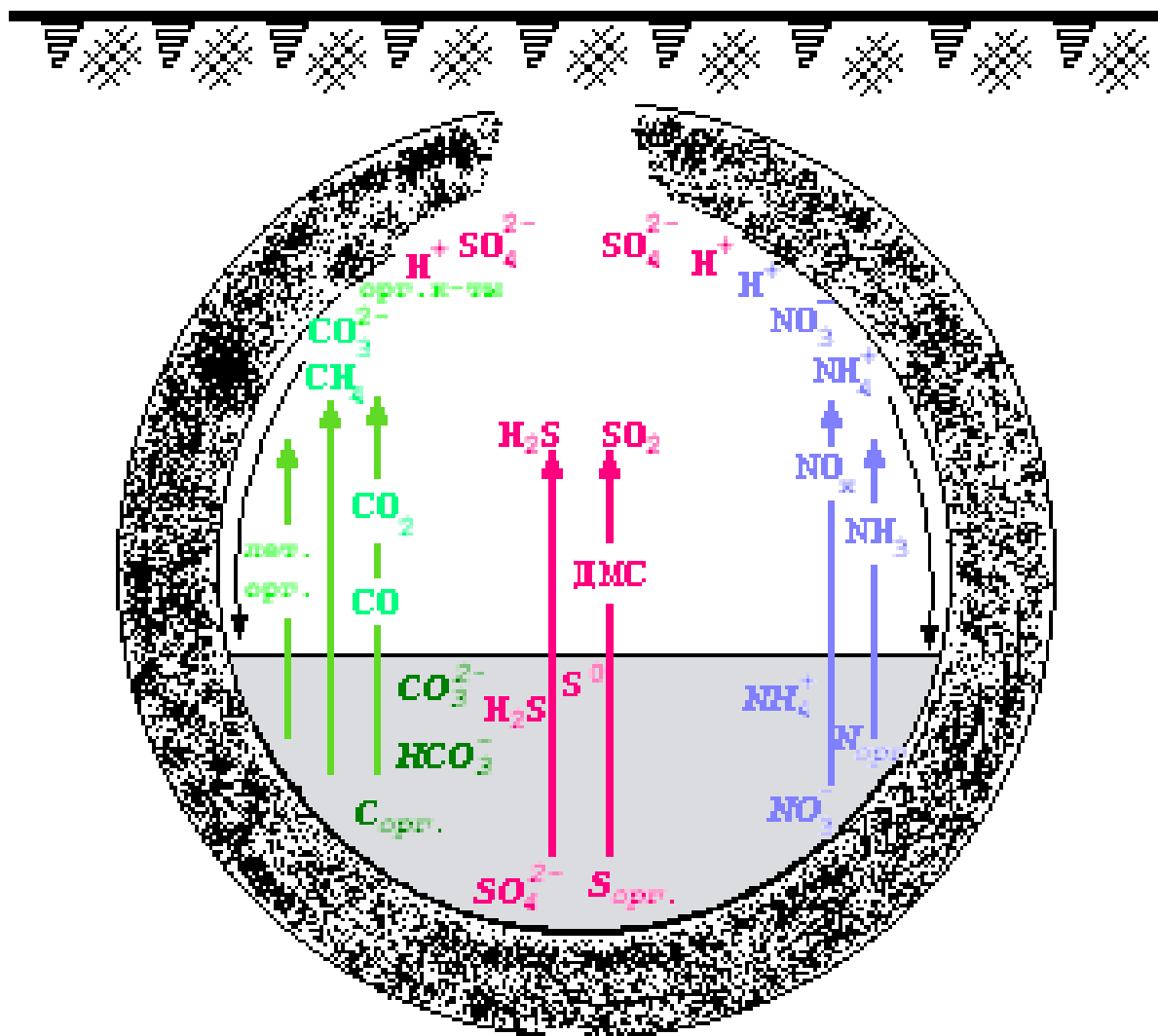


Рис. 2.3 — Миграция углерода, серы и азота в техногенной экосистеме канализационных трубопроводов (курсивом обозначены соединения, находящиеся в сточных водах, обычным шрифтом – соединения, образованные микроорганизмами в сточных водах и на сводовой части трубопровода)

Таблица 2.3 – Углерод, сера и азот в различных фазах экосистемы коллекторов

Фазы экосистемы коллекторов и концентрация в них биогенных элементов	Соединения биогенных элементов			Среднее соотношение C:S:N
	углерода общего (в нем орган., %)	серы общей (в ней орган., %)	азота общего (в нем орган., %)	
Жидкая (мг/дм ³)	50-80 (75-85)	50-95 (10-20)	12-50 (8-10)	10:(5-10):(1-5)
Основные соединения	карбонаты, бикарбонаты, органические в-ва	сульфаты, сульфиды, органические в-ва	аммоний, нитраты, нитриты, органические вещества	
Газообразная (мг/дм ³)	0-0,25 (не опред.)	0-0,20 (0-0,5)	0-0,02 (не опред.)	10:(0-10):(0-1)
Основные соединения, образованные в сточной воде	диоксид и оксид углерода, метан	сероводород, диоксид серы, меркаптаны	аммиак, оксиды азота	
Твердая – бетон при глубоком коррозионном поражении (%)	1,1-2,2 (0-50)	2,5-10,0 (не опред.)	0,21-0,52 (90-94)	10:(15-60):(0,6-3,0)
Основные соединения	карбонаты, органические вещества	сульфаты, сульфиды, бисульфиды, сера элементарная	нитраты, аммонийные соли	

Жидкая фаза экосистемы коллекторов включает две экологических ниши:

- транспортируемые сточные воды, в которых видовой состав микробиоты колеблется;
- лоток, на поверхности которого иммобилизован микробиоценоз развивающийся в относительно стабильных условиях.

Метаболизм бактерий второй экологической ниши обуславливает доминирующие микробиологические превращения компонентов сточных вод, происходящие в сетях.

Для миграции биогенных элементов в экосистеме, формирования химического состава ее газообразной и твердой фаз, селекции микробиоценозов на своде и интенсивности микробиологической коррозии в этой фазе значимыми являются те микробиологические процессы в сточных водах, которые приводят к образованию газообразных продуктов.

В результате гетеротрофной микробиологической деструкции в анаэробных и микроаэрофильных условиях органических и неорганических серо-, углерод- и азотсодержащих загрязнений транспортируемых сточных вод (сульфатредукции, гниения, брожений, неполных окислений, денитрификации и др.) образуется ряд газообразных коррозионно-агрессивных соединений – H_2S , SO_2 , CO_2 , NO_x и др. (рис. 2.3). Их концентрации в атмосфере подсводового пространства, установленные в сетях водоотведения г. Харькова, и в сетях водоотведения других городов, представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Химический состав газовых выбросов из канализационных сетей

Соединения	Единицы измерения концентрации	Концентрация в газовых выбросах	ПДК
H_2S	мг/м ³	2-100	10*
ДМС	мг/м ³	$(1-4) \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-6}^{**}$
SO_2	мг/м ³	5-30	10*
NH_3	мг/м ³	0-10	20*
NO_x	мг/м ³	0-5	5*
CO	мг/м ³	4-25	20*
CO_2	Объемные %	0,1-1,5	0,5*
CH_4	Объемные %	0,5-6,0	2,0*

*- ПДК в рабочей зоне, ** - ПДК населенных мест.

Газообразные продукты микробного метаболизма выделяются из сточных вод в атмосферу коллектора и частично растворяются непосредственно в конденсатной влаге на своде сооружения либо в аэрозолях атмосферы трубопровода, которые затем конденсируются на своде.

Концентрация этих газообразных соединений в атмосфере подсводового пространства, а следовательно, и в выбросах из сетей в атмосферу прилегающих городских регионов значительно превышает не только ПДК для населенных мест, но и ПДК для рабочей зоны. К тому же в газовой смеси присутствует диоксид серы, усиливающий токсичное действие других газообразных соединений. Такая нагрузка на окружающую природную среду создает большую проблему для экологической безопасности водоотведения.

Как видно из данных табл. 2.3, соотношение биогенных элементов в газообразной фазе отличается от наблюдаемого в сточных водах. Концентрации углерода и серы по-прежнему близки, а концентрация азота существенно ниже. Кроме активности микробиологического метаболизма в жидкой фазе на содержание элементов в газообразной фазе влияет также активность элюирования газообразных соединений из жидкости в подсводовое пространство, которая зависит от растворимости этих соединений в физико-химических условиях, характерных для коллектора и турбулентности движения сточных вод. Газообразная фаза, формируемая продуктами жизнедеятельности микробиоценозов жидкой фазы, в отличие от сточных вод коррозионно опасна для бетона. На некоторых участках коллекторов по концентрации сероводорода и углекислого газа она классифицируется как слабоагрессивная и агрессивная. В экосистеме коллектора газообразную фазу можно рассматривать как связующее звено между микробиоценозами жидкой и твердой фаз, среду для транзита главных биогенных элементов из сточных вод к бетону свода сооружений.

Растворение газообразных серо-, углерод- и азотсодержащих соединений и продуктов их химического окисления в пленочной конденсатной влаге на поверхности сводовой части коллектора приводит к их взаимодействию с компонентами бетона. При этом происходит абиогенное подкисление пленочной конденсатной влаги. Ведущую роль в подкислении играет CO_2 . В подсводовой атмосфере концентрация CO_2 сравнима с концентрацией SO_2 . Образующая этим соединением сернистая кислота имеет константу диссоциации на два порядка выше константы диссоциации угольной кислоты, образуемой при растворении CO_2 . Вероятно, SO_2 играет по крайней мере не менее значимую, чем CO_2 , роль в снижении pH пленочной конденсатной влаги на сводовой части канализационных трубопроводов.

Однако намного более масштабным и значимым для конструкций трубопроводов является другой результат растворения газообразных соединений подсводового пространства в конденсатной влаге на своде - инициация микробиологических процессов окислительного метаболизма с образованием кислых неорганических продуктов. Учитывая химический состав газовой фазы, наиболее коррозионно-агрессивные для бетона соединения – неорганические кислоты могут образоваться в следующих хемолитотрофных процессах:

- окислении восстановленных соединений серы (сероводорода, оксидов серы, меркаптанов и др.) серными и тионовыми бактериями до серной кислоты;
- окислении аммония и оксидов азота бактериями-нитрификаторами с образованием азотистой и азотной кислот;

- окислении водорода и оксида углерода до угольной кислоты карбоксидобактериями.

На своде трубопровода в окислительном метаболизме органических субстратов хемоорганотрофными (гетеротрофными) бактериями может также продуцироваться некоторое количество органических кислот.

В результате всех этих процессов на поверхности бетона образуется многокомпонентная чрезвычайно коррозионно-агрессивная реакционная смесь с низким значением pH, которая активно взаимодействует с компонентами бетона (главным образом с цементными гидратами). Воздействие продуктов метаболизма этого микробиоценоза на бетон включает несколько реакций, среди которых наиболее значимыми для долговечности и надежности конструкций трубопроводов являются следующие:

- нейтрализация гидроксидов, карбонатов и накопление в среде протонов, снижение pH бетона до значений менее 1;
- выщелачивание катионов из твердой фазы (главным образом кальция, магния, железа и алюминия) в виде растворимых соединений – нитратов, бикарбонатов, сульфатов, органических солей и комплексных соединений;
- образование химических соединений (минералов) с более низкими прочностными характеристиками, чем исходный бетон, и минералов, вызывающих при расширении механические повреждения бетона;
- кардинальная трансформация структуры бетона.

Химический состав пленочной конденсатной влаги, формируемой в результате взаимодействия микробных метаболитов с бетоном, варьирует в зависимости от глубины поражения бетона коррозионным процессом (табл. 2.5). При оценке агрессивности этой эксплуатационной среды необходимо учитывать не только ее кислотность, но и солесодержание, которое зависит от pH среды. На начальных этапах, когда pH бетона > 10 , солесодержание конденсатной влаги составляет 1-2 г/дм³. При дальнейшем развитии ассоциации тиаобацилл и разрушении бетона концентрация солей (преимущественно сульфатов) в конденсатной влаге возрастает и при pH бетона < 2 она превышает 60 г/дм³. Согласно СНиП 2.03.11-85 среды с такими характеристиками солесодержания являются сильноагрессивными по отношению к бетону.

Часть серо-, азот- и углеродсодержащих продуктов взаимодействия микробных метаболитов с компонентами бетона (сульфаты, нитраты, карбонаты и др.) растворяется в пленочной конденсатной влаге и по поверхности свода стекает в сточные воды (исходную жидкую фазу), замыкая цепи миграций углерода, серы и азота в экосистеме коллектора в циклы (рис. 2.3).

В целом коррозионное разрушение бетона сводовой части канализационных сетей и сооружений на них обусловлено воздействием двух агрессивных эксплуатационных сред: газообразной, но главным образом жидкой – пленочной конденсатной влаги, сформированных в основном продуктами микробного метаболизма.

Таблица 2.5 – Химические характеристики пленочной конденсатной влаги

рН бетона	РН пленочной конденсатной влаги	Солесодержание (расчетное по контролируемым ионам), г/дм³	ХПК, г/дм³
12,3	12,8	1,0-2,0	0
8,6	7,0	10,0-20,0	0,1
4,2	2,8	30,0-40,0	0,9
1,5	0,5	60,0-70,0	1,5

На первых этапах процесса это приводит к частичному разрушению трубопровода, при котором токсичные газообразные соединения начинают поступать в окружающее трубопровод подземное пространство, создавая угрозу функционированию других коммуникаций этой среды. Продукты разрушения свода попадают в сточные воды, дополнительно загрязняя их, а при дальнейшем развитии коррозионного процесса свод обрушивается со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями для городского хозяйства.

Исследования экосистемы коллекторов, механизмов ее стабильности и особенностей функционирования позволяют выявить управляющие воздействия и обоснованно разрабатывать мероприятия по снижению активности коррозионных процессов, которые можно реализовать и при новом строительстве, и при эксплуатации уже действующих трубопроводов. Комплексный анализ миграции биогенных элементов в экосистеме коллекторов свидетельствует, что биогеохимические трансформации бетона в сооружениях водоотведения, а следовательно, и техногенная безопасность этих сооружений обусловлены микробиологическими превращениями (главным образом хемосинтеза) на своде коллектора трех биогенных элементов - углерода, серы и азота, но преимущественно аэробным хемосинтезом экстремально ацидофильных тионовых бактерий. Реакции на своде трубопроводов можно рассматривать как этапы специфических трофических циклов этих элементов, связывающих жидкую, газообразную и твердую фазы сооружений водоотведения в единую экосистему техногенного происхождения.

2.3.4. Борьба с микробиологической коррозией бетона сетей водоотведения, вызываемой ацидофильными тиобациллами

Защита бетона канализационных коллекторов является обязательным условием долговечности и эксплуатационной надежности этих сооружений, их экологической безопасности. Масштаб процессов коррозионного разрушения канализационных коллекторов, его экономический (около 2 % валового национального продукта) и экологический ущерб требуют масштабных решений проблемы их долговечности и надежности на этапах проектирования, строительства и эксплуатации. К сожалению, предпринимаемые до настоящего времени меры как на этапах проектирования, строительства, так и на стадии эксплуатации сооружений не дают ощутимых результатов. Кроме того, в практике строительства канализационных трубопроводов при оценке агрессивности воздействующих на эти конструкции эксплуатационных сред не учитывается активность биогенной сернокислотной агрессии. В некоторых стандартах стран СНГ по проектированию наружных канализационных сетей внесен ряд новых положений, связанных с микробиологической коррозией в этих объектах.

Особенности канализационных трубопроводов и специфика эксплуатационной среды не позволяют механически перенести на них известные противокоррозионные защитные мероприятия, хорошо зарекомендовавшие себя на других объектах техносферы.

Способы предотвращения коррозии канализационных коллекторов можно разделить в соответствии с тремя стадиями в генезисе биогенной сульфатной агрессии (образование сероводорода, элюирование его в подсводовое пространство и окисление до серной кислоты) на три группы [4]:

- предотвращение или сведение к минимуму образования сероводорода в транспортируемых сточных водах;
- предотвращение элюирования сероводорода в атмосферу канализационных сетей;
- предотвращение микробиологической коррозии на свode минимизацией микробиологического окисления восстановленных соединений серы в H_2SO_4 ;
- использование кислотостойких марок бетона, защита бетона различными пропитками, органическими и неорганическими покрытиями, в том числе содержащими биоциды.

Использование биоцидов – бактериостатических или бактерицидных веществ, которые положительно зарекомендовали себя в водоподготовке, агрохимии, санации помещений и т.п., для борьбы с коррозией бетона в сетях водоотведения многим авторам представляется довольно заманчивым и перспективным, поскольку причиной коррозии является жизнедеятельность микроорганизмов. Но как показали исследования, выполненные в УГНИИ УкрВОДГЕО, иммобилизованная на бетоне ассоциация тиобацилл обладает

очень высокой (на 1-3 порядка выше по сравнению с сапрофитами) резистентностью к воздействию химических биоцидов: катионактивных и амфолитных СПАВ, коммерческих биоцидов (метацита, «Полисепта»), неорганических биоцидов (NaF , NaCl , CuSO_4), а также к специфическому ингибитору хемосинтеза «Пиразолу». Совместное использование биоцидов различной химической природы (СПАВ и «Полисепта») эффект ингибирования не усиливает. Аналогично высокой, по сравнению с сапрофитами, является и устойчивость иммобилизованной ассоциации тионовых бактерий к физическому биоцидному воздействию – импульсному ультрафиолетовому излучению широкого спектра.

Необходимость многократной интенсификации биоцидного воздействия для подавления развития тиабацилл отрицательно отражается не только на экономических показателях физических и химических методов ингибирования микробиологической коррозии в сетях, но и при использовании химических биоцидов создает угрозу для эксплуатационной надежности биологических очистных сооружений, куда транспортируются сточные воды. Даже при введении биоцидов в покрытия или в бетон их ингибирующее действие может осуществиться только при выщелачивании (выходе) из твердых субстратов. В результате выщелачивания биоциды неизбежно попадут в экосистему коллекторов, а следовательно, и в сточные воды, транспортируемые на биологические очистные сооружения. Таким образом, использовать химические биоциды общего бактерицидного действия для борьбы с микробиологической коррозией в сетях водоотведения может крайне ограничено.

2.3.5. Защита конструкций в сетях водоотведения полимерными материалами

Полимерные материалы на объектах водоотведения используются для:

- 1) труб водоводов, коллекторов и других конструктивов;
- 2) санации трубопроводов, коллекторов и других конструктивов;
- 3) напыления на конструкции при ремонтно-строительных работах;
- 4) защиты оборудования технологических устройств, оснащения и др. от воздействия коррозионно-агрессивных сред путем:
 - крепления полиэтиленовых листов к стене;
 - ремонта и изоляции поверхности с использованием блочной опалубки;
 - установки цельносекционных железобетонных блоков, покрытых ребристыми полиэтиленовыми листами.

2.3.5.1. Устойчивость полимерных соединений к микробиологической коррозии

Полимерные материалы, являясь органическими соединениями, способны подвергаться биологическому разрушению, прежде всего плесневыми грибами. Но повреждение изделий из пластических масс, вызываемое плесневыми грибами, обычно не такое интенсивное, как повреждение изделий из органических природных материалов. Только в некоторых случаях, особенно при использовании неустойчивых примесей, обильное развитие плесени вызывает значительные изменение свойств пластических масс.

Активность развития плесени и ее воздействия на полимерный субстрат зависит от влажности окружающей среды. Конденсация и скопление влаги на поверхности материала способствуют росту этой культуры. Некоторые пластические массы уже под влиянием только повышенной влажности значительно изменяют свои свойства.

Повреждение материалов плесневыми грибами происходит как в результате механического разрушения разрастающимся мицелием, так и за счет воздействия на полимеры различных продуктов метаболизма грибов, в первую очередь органических кислот и экзоферментов. Эти соединения вызывают химическую коррозию пластиков, которая приводит к снижению у материала предела прочности при растяжении, гибкости и т.д.

Различные виды грибов, встречающихся на полимерных материалах, выделяют в качестве продуктов своей жизнедеятельности целый комплекс органических кислот: щавелевую, фумаровую, янтарную, яблочную, малоновую, лимонную, винную, молочную. В зависимости от продуцируемых кислот все плесневые грибы можно разделить на три группы: 1) грибы, выделяющие в среду относительно большое количество органических кислот, - *Penicillium chrisogenum*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*; 2) грибы, продуцирующие небольшое количество кислот – к ним относится большинство других видов родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*; 3) грибы, выделяющие в среду ничтожно малое количество кислот, - *Mucor* sp., *M. tenuis*. Органические кислоты, синтезируемые грибами, которые развиваются на полимерных материалах, играют двойную роль: с одной стороны, действуют на пластмассы как агрессивные среды; с другой, являясь неполным продуктом окисления углеводов, служат источником углерода для дальнейшего развития микроорганизмов.

Устойчивость полимерных материалов с различным химическим строением к действию органических кислот, которые могут выделяться плесневыми грибами, неодинаковая. Наиболее устойчив в этом отношении полиэтилен, менее стойким является поливинилхлорид.

Наряду с органическими кислотами важным фактором биоповреждений полимерных материалов являются выделяемые грибами ферменты, особенно оксидоредуктазы (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза) и эстеразы (фосфатазы, липазы). Разрушение пластмасс под воздействием микроорганизмов наступает в результате различных реакций – окисления, восстановления, декарбоксилирования, этерификации, гидролиза и др. При этом наблюдается

корреляция между поражаемой категорией материала и ферментативными свойствами присутствующей в ней микрофлоры. Так, разрушители резины и битумов являются в основном продуцентами липазы, разрушители комбинированных строительных материалов – продуцентами дегидрогеназ, каталазы и пероксидазы и др.

Благодаря проводимости, свойственной пластическим массам, иммобилизованные на их поверхности микроорганизмы повышают электропроводность материала и уменьшает его сопротивление действию ползучих электрических токов. Аккумулируя механические загрязнения из воздуха, колонии плесени значительно влияют на свойства материала и делают его питательным субстратом для роста других микроорганизмов.

Обычно пластмассовые материалы поражаются ассоциациями плесневых грибов, принадлежащих к нескольким видам. Так, из двух пластиков – бакелита и поливинилхлорида – было выделено 24 вида плесневых родов, в том числе *Aspergillus chevalieri* и *Penicillium chrysogenum*.

Установлено, что некоторые компоненты пластических масс (например, хорошо пластифицированный поливинилхлорид) практически полностью устойчивы к действию плесеней, другие (полиэтилен) обнаруживают удовлетворительную устойчивость. Пресспорошки с органическим наполнителем оказываются заметно поврежденными при развитии плесени.

Особенности развития плесеней в пластмассе до сих пор изучены мало. Однако очевидно, что динамика их роста зависит как от химического строения материала, так и от его физической структуры. Мицелий плесени может использовать для своего развития очень тонкие трещины и поры материала, образующиеся на стыке между самой пластмассой и частицами примесей. Поэтому резистентности к грибной коррозии полимера недостаточно для появления резистентности и у наполнителя. Среди известных композиций пластмасс плесневые культуры в наибольшей степени предпочитают развиваться на пластиках в соединении с текстилем. Влияние физической структуры пластмасс на поражаемость грибными культурами проявляется, например, в том, что поливинилхлорид устойчив к плесневению, а его эмульсия поражается плесенью.

Если низкомолекулярные примеси (пластификаторы, стабилизаторы) растворимы в пластической массе и могут служить питательным субстратом для плесеней, то большее влияние на динамику роста грибной культуры оказывают физико-химические свойства материала, а не его физическая структура. Пластификаторы могут находиться в пластических массах также в виде очень тонких (молекулярных) дисперсий в основной массе полимера. Благодаря миграции молекул низкомолекулярного вещества в массу полимера значительная часть этого вещества находится в соприкосновении с мицелием и может поглощаться грибом.

Таким образом, чувствительность пластических масс к плесневению зависит от свойств компонентов, содержащихся в этих материалах.

Резистентность к плесневению чистых смол

Под чистыми синтетическими смолами понимают собственно высокомолекулярные вещества, представляющие собой основные составные части пластических масс. Известно, что наполнители и добавки в большой мере изменяют степень устойчивости пластических масс к плесневению. Иногда устойчивость пластических масс уменьшается, например, при использовании несоответствующих пластификаторов или плесневеющих наполнителей, а иногда возрастает (в случае устойчивых пластификаторов).

Как видно из табл. 2.6, степень устойчивости пластических масс к плесневению зависит от вида питательной среды. Среди испытанных полимеров (на комплексной питательной среде с сахарозой и в среде без нее) фунгицидным действием обладала только мочевино-формальдегидная смола. На других полимерах в комплексной питательной среде с сахарозой грибная культура развивалась с большей или меньшей активностью. Однако, если питательная среда не содержала сахарозы, то культура *Aspergillus niger* могла развиваться только на таких полимерах, как нитрат целлюлозы, поливинилацетат, феноло-формальдегидной и меламиновой смолах. Другие пластические массы проявили фунгистатические свойства. Поэтому предполагается, что основной причиной плесневения пластических масс являются посторонние вещества, а не полимер.

Устойчивость к плесневению пластификаторов

В пластических массах часто применяют очень большие концентрации пластификаторов. Их природа в большой степени определяет устойчивость изделия к плесневению.

Таблица 2.6 – Развитие плесневой культуры на различных полимерах

Чистый полимер	Рост <i>Aspergillus niger</i>	
	на комплексной питательной среде	на питательной среде без сахарозы
Ацетат целлюлозы	1	0
Ацетат-бутират целлюлозы	1	0
Ацетат-пропионат целлюлозы	2	0
Нитрат целлюлозы	2	2
Этилцеллюлоза	2	0
Полиэтилен	1	0
Полиметилметакрилат	1	0
Полистирол	2	0
Поливинилацетат	3	2
Поливинилхлорид	2	0
Поливинилацетатхлорид VYNW	1	0
Поливинилацетатхлорид VYHH	2	0
Меламино-формальдегидная смола	3	1
Мочевино-формальдегидная смола	0	0
Феноло-формальдегидная смола	2	1

Примечание: 0 – рост отсутствует; 1 – рост незначительный; 2 – рост удовлетворительный; 3 – рост обильный.

Многие пластификаторы не плесневеют при испытании на питательных средах без сахаров. Это свидетельствует о том, что сами они не могут служить питательным субстратом для плесневых грибов. Но все пластификаторы поражаются плесенью в присутствии сред, содержащих сахара, что говорит об отсутствии у них фунгицидных свойств.

Известны пластификаторы, обладающие наименьшей резистентностью к плесневению, выражающейся в активном развитии на них грибковых культур, даже при использовании питательной среды без сахарозы. Например, рицинолеаты в большой степени неустойчивы к плесневению. Эти общепринятые пластификаторы не следует использовать на объектах, где вероятность поражения плесенью большая. Низкую резистентность к развитию грибковых культур имеют стеараты и себацинаты. А малеинаты, фталаты и фосфаты устойчивы к плесневению.

Связь между степенью поражения пластификатора плесенью и его химическим строением еще полностью не выяснена. Только внутри некоторых групп пластификаторов установлены определенные зависимости, которые можно сформулировать следующим образом:

- 1) диэфиры предельных алифатических дикарбоновых кислот, содержащие 12 и более атомов углерода, легко поглощаются плеснями;
- 2) с увеличением молекулярного веса у 1-метиладипатов и n-алкиладипатов снижается устойчивость к плесневению, причем в таком порядке:
метил- > этил- > n-пропил- > 1-метилэтил- > n-бутил- > n-амил- > 1-метилбутил- > n-гексил- > 1-метилгептилпроизводные;
- 3) многоатомные спирты легко поглощаются плеснями, если только имеются гидроксильные группы у соседних или у крайних атомов углерода. Например, бутандиол-2,3 и бутандиол-1,4 плесневеют сильнее, чем бутандиол-1,3. Подобным образом пентандиол-1,5 плесневевает больше, чем пентандиол-2,4. Этерификация спиртов значительно повышает устойчивость соединений к плесневению;
- 4) устойчивость к плесневению производных пентаэритрита уменьшается в зависимости от характера производного от 0 до 3. Однако разобраться в количественной связи устойчивости к плесневению со строением трудно. Результаты, полученные разными авторами, по существу полностью совпадают, только в отдельных случаях имеются расхождения, которые можно объяснить различиями в методах и условиях испытания, а также происхождением соединений.

Влияние наполнителей на устойчивость к плесневению пластических масс

Наполнители оказывают большое влияние на устойчивость пластических масс к плесневению. С органическими наполнителями (например, гетинакс, пресспорошки с древесной мукой, текстильными обрезками) пластические массы плесневеют, как правило, больше, чем с неорганическими (например, стек -

лопластики, пресспорошки с асбестовой мукой, кварцем, стекловолокном и др.). Аналогичная картина наблюдается среди пластических масс, нанесенных на текстиль или другой носитель. Естественно, что устойчивость к плесневению материалов с такой структурой зависит от устойчивости основного компонента – связующего вещества и от добавок, например, пластификаторов. В отдельных случаях наполнитель полностью защищен связующим от плесневения. Например, некоторые прессованные изделия обладают высокой устойчивостью к плесневению. При этом большое влияние на резистентность пластмассы к развитию грибковой культуры оказывают способ приготовления прессовочной смеси, параметры процесса, а также полнота пропитки волокнистого наполнителя смолой.

При изготовлении наполненных пластических масс, устойчивых к плесневению, следует руководствоваться такими правилами:

- использовать предпочтительно минеральные наполнители (в сочетании с устойчивыми к плесневению пластическими массами);
- применять просушивание для хорошего пропитывания связующим;
- добиваться, чтобы прессованные изделия и детали для сборки из слоистых пластических масс не имели поверхностей, где наполнитель выступал бы наружу (например, поверхность разреза). Такие поверхности нужно защищать соответствующим красочным покрытием.

Методы количественной оценки устойчивости пластических масс и изделий из них к грибной коррозии разрабатывали многие авторы. В настоящее время такие методики приведены в ряде ГОСТов, а также в ДСТУ.

2.3.5.2. Устойчивость полимерных материалов к биогенной сернокислотной агрессии

В условиях, формируемых на сводовой части самотечных канализационных коллекторов, активное развитие грибковой микрофлоры является маловероятным. Главным фактором, ингибирующим развитие плесеней, служит высокая кислотность среды, создаваемая серной кислотой, которую продуцируют тиобациллы. Устойчивость полимерных материалов к действию соединений, выделяемых бактериями именно этой эколого-трофической группы, определяет эффективность защиты бетона полимерными покрытиями.

В настоящее время спектр полимерных покрытий, предлагаемых различными фирмами и разработчиками для защиты бетона, очень широкий. В основном это гидроизоляционные покрытия отечественного и зарубежного производства, которые проявили высокий положительный эффект на различных технических объектах.

Эффективность различных полимерных покрытий бетона в защите его от биогенной сернокислотной агрессии определяли в натурных условиях. Образцы бетона (4х4х16 см), покрытые различными коммерческими гидроизоляционными составами, в сетках подвешивали к своду самотечного коллектора. Контрольные варианты покрытых образцов бетона находились в лаборатории. В сетку помеща-

ли также незащищенные бетонные балочки для оценки степени агрессивности среды на данном участке сетей водоотведения (табл. 2.7).

После окончания экспозиции контрольные и опытные образцы исследовали с помощью металлоксидного электрода, контролируя следующие показатели:

- pH пленочной влаги на поверхности;
- pH бетона под покрытием;
- pH бетона на участках разрыва покрытия.

Таблица 2.7 – Эффективность защитных покрытий бетона в условиях биогенной сернокислотной агрессии (115 дней экспозиции)

Коммерческое гидроизоляционное покрытие	Вариант	Количество слоев	Разрушение покрытия	РН бетона под покрытием
1	2	3	4	5
Бетон без защитного покрытия		-	-	(2,3-3,1)
Полиэфирные соединения	Контроль	1		9,7
	Опыт	1	+	2,7
	Опыт	3	-	6,0
	Контроль	5	-	9,2
	Опыт	5	-	4,7
	Опыт	8	-	7,4
	Контроль	10	-	5,9
	Опыт	10	-	7,4
Композиция на основе эпоксидной смолы	Бетон под неповрежденным покрытием		-	9,9
	бетон под покрытием, изменившим цвет		-	7,1
Эпоксидная композиция (СНиП 11-28-73)	Бетон под неповрежденным и участками покрытия		+	7,9
	Бетон под разрушенным покрытием		+	2,38
Эпоксидная композиция (СНиП 11-28-73) с амиромол М	Бетон под покрытием		+	7,9
Полиэтилен ПЭНД	Контроль		-	12,3
	Опыт		-	12,3

Продолжение табл. 2.7

1	2	3	4	5
Полиэтилен (вторичный) ПЭНД	Контроль		-	12,3
	Опыт		-	12,3
Пропитка крем- нийорганическим лаком ВВ7	Контроль		-	6,89 (пов-ть), 9,8 (глуб 5мм)
	Опыт		-	5,08 (пов-ть), 6,8 (глуб. 5мм)
Кольматирующая смесь на основе цемента	Контроль		+	10,2-11,7 (покрытие тол- щиной 6-8мм)
	Опыт			7,2-9,6 (покрытие тол- щиной 6-8мм)

РН бетона и покрытий определяли, выполняя не менее 10 измерений на контролируемом участке образца. Оценка эффективности покрытия основывалась на следующих характеристиках сернокислотной коррозии бетона:

- нейтрализации цементных гидратов;
- образовании соединений, имеющих более высокий коэффициент расширения.

Кислоты – продукты метаболизма тиобацилл, диффундируя через покрытия, взаимодействуют с бетоном с образованием минералов, которые, расширяясь, разрывают покрытие изнутри (рис 2.4, 2.5). Использование специального металлоксидного электрода позволяет количественно определить эффективность защиты бетона от биогенной сернокислотной агрессии различными покрытиями еще до возникновения каких-либо визуально заметных повреждений. Оценка изоляционных свойств покрытия основывается на сравнении значений рН бетона непосредственно под покрытием в контрольном (не находившимся в условиях биогенной сернокислотной агрессии) и опытном образцах. Подкисление бетона в опытных образцах свидетельствует о том, что кислоты, образуемые тиобациллами, диффундируют через покрытие и взаимодействуют с бетоном. Следовательно, разрыв покрытия продуктами коррозии бетона неизбежен.

Количественно оценить эффективность защиты бетона покрытием можно с помощью формулы

$$\Xi = \frac{[H_p^+] - [H_o^+]}{[H_p^+] - [H_k^+]} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где Ξ — эффективность защиты, %;

$[H_k^+]$ — концентрация H^+ в бетоне непосредственно под покрытием в контрольном образце, г-экв/дм³;



Рис. 2.4 — Образцы бетона, покрытые эпоксидной композицией (СНиП 11-28-73), после 115 дней экспозиции на своде коллектора (слева – покрытие без биоцида, справа – с биоцидом)



Рис. 2.5 — Образцы бетона, покрытые одним слоем состава №1 (слева — опытный образец после 115 дней экспозиции на своде коллектора, справа – контроль)

$[H_o^+]$ — концентрация H^+ в бетоне непосредственно под покрытием в опытном образце, после экспозиции в течение t суток, г-экв/дм³;

$[H_p^+]$ — концентрация H^+ в корродирующем бетоне, который разрывает покрытие, г-экв/дм³.

Покрытие из эпоксидной композиции, рекомендуемой СНИП 11-28-73 для защиты канализационных коллекторов от коррозии (ЭД-20: ПЭПА:ДБФ = 100:12:30 массовых частей), после 3,5 месяцев экспозиции имело большое количество повреждений в виде свищей и разрывов на ребрах образцов (рис.2.4). Образованные в результате взаимодействия серной кислоты и компонентов бетона минералы, расширяясь, изъязвляли и разрывали покрытие изнутри.

Следует отметить, что при введении в эпоксидную композицию биоцидных соединений (амфолитных СПАВ) процесс коррозии покрытия заметно тормозился (рис. 2.4). Это подтверждает микробиологическую природу коррозионного процесса и возможность ингибирования его с помощью биоцидов. Но концентрации биоцидов в покрытии, необходимые для эффективного подавления жизнедеятельности бацилл-продуцентов серной кислоты, делают их использование в таких крупномасштабных сооружениях, как сети водоотведения проблематичным и по экономическим, и по экологическим показателям.

РН бетона под участками сохранившегося покрытия составляет 3,0-4,5. По-видимому, при этом значении рН происходят наиболее интенсивное расширение продуктов коррозии и разрыв противокоррозионного покрытия. Исходя из этого значения рН, данных рис. 2.6 и значений рН бетона образцов с полностью разрушенным покрытием после экспозиции на данном участке, можно ориентировочно установить срок начала разрушения покрытия, а следовательно, его долговечность.

Если покрытие допускает диффузию серной кислоты, то рН бетона под покрытием в опытных образцах снижается. Ориентировочный срок до наступления разрыва покрытия можно рассчитать на основании определения скорости подкисления бетона под покрытием и сравнения ее с данными, полученными при испытании образцов незащищенного бетона в канализационном коллекторе (рис. 2.6, формула 2.2)

$$t = \frac{V}{V_o} \cdot 45, \quad (2.2)$$

где t — ориентировочный срок эксплуатации покрытия, сут;

V — скорость накопления протонов в конденсатной влаге на поверхности незащищенного бетона в том же диапазоне изменения значений рН, что и в опытном образце;

V_o — скорость накопления протонов в бетоне под испытываемым покрытием, г-экв/дм³·сут;

45 — продолжительность экспозиции, необходимая для достижения рН 3,5 в эксперименте с незащищенным бетоном (рис. 2.6), сут.



Рис. 2.6 - Влияние продолжительности экспозиции на pH поверхности бетона

Испытанные коммерческие гидроизоляционные покрытия и пропитки (табл. 2.7), которые хорошо зарекомендовали себя на различных объектах, активно разрушаются при использовании их для защиты бетона, находящегося в условиях биогенной сернокислотной агрессии. Из данных исследования бетона под покрытиями после экспозиции видно, что они допускают диффузию серной кислоты. Единственным покрытием, под которым бетон не изменил pH даже после экспозиции в течение 1 года, был полиэтилен, причем как первичный, так и вторичный.

Установление причин разрушения полимерных покрытий бетона в условиях биогенной сернокислотной агрессии имеет большое практическое и научное значение, поскольку позволяет обоснованно выбирать материалы для защиты бетона.

Можно предположить, что в таких покрытиях, как эпоксидные композиции диффузия серной кислоты происходит через полярные соединения. Но поскольку эта диффузия наблюдается и при использовании неполярных полимерных гидроизоляционных покрытий, вероятно, что этой диффузии способствует какое-то малополярное соединение, образуемое тиобациллами, например, фосфолипиды. Образование фосфолипидов тиобациллами отмечается как положительный фактор в гидрометаллургических процессах - выщелачивании ими металлов из руд.

В образцах бетона, в различной степени пораженных биогенной сернокислотной агрессией, установлено наличие органического фосфора и жироподобных соединений (извлекаемых в вытяжку хлороформом) (табл. 2.8).

Таблица 2.8 – Образование тиобациллами органических соединений при коррозии бетона

рН бетона	Концентрация фосфора органических соединений, мг/г	Концентрация жироподобных соединений, мг/г	Концентрация органического углерода, мг/г
3,4	0,028	1,40	1,5
6,0	0,039	0,34	1,0
8,4	0,080	0,10	0,8
9,7	0,078	0	0,5
10,4	0	0	0,2
12,5	0	0	0

Чем ниже рН бетона (глубже коррозионное поражение), тем выше концентрация в нем жироподобных соединений (аналогично динамике органического углерода). Концентрация органического фосфора в зависимости от рН корродирующего бетона изменяется по параболической зависимости: при снижении рН от 12,4 до 9,7-8,4 она повышается, а при дальнейшем подкислении среды снижается. Это обусловлено, вероятно, повышением растворимости его соединений при снижении рН и выщелачиванием фосфолипидов из бетона, которое превышает продуцирование этих соединений тиобациллами. Детальный анализ органических соединений, образуемых ассоциацией тиобацилл – возбудителей коррозии бетона, проводили с помощью хроматомасс-спектрометра. В продуктах метаболизма ассоциации, извлекаемых метанолом, этилацетатом и хлороформом, идентифицировали спирты (С больше 9), эфиры фталевой кислоты и парафины.

Эффективную защиту бетона от биогенной сернокислотной агрессии может обеспечить только то покрытие, которое не допустит диффузию серной кислоты, в том числе в смеси с жироподобными соединениями.

Как известно, полиэтилен обладает высокой устойчивостью к воздействию серной кислоты и не растворяется в жироподобных соединениях. Поэтому он является наиболее перспективным материалом для использования в качестве защитного покрытия бетонных и металлических конструкций сетей водоотведения. Экономические показатели такого противокоррозионного мероприятия даже в огромных масштабах канализационного хозяйства городов имеют положительную перспективу, тем более что для защиты от биогенной сернокислотной агрессии может использоваться вторичный полиэтилен из отходов.

Для испытания устойчивости полиэтилена к биогенной сернокислотной агрессии и установления предельных сроков его эксплуатации в данной среде проводили эксперименты в лабораторных и производственных условиях. Лабораторные испытания выполняли двумя путями:

- при экспозиции образцов полиэтилена в растворе, моделирующем химический состав эксплуатационной среды – конденсатной влаги на своде коллекторов;

- при экспозиции образцов полиэтилена в жидкой накопительной культуре тионовых бактерий, выделенных из прокорродировавшего бетона сетей водоотведения. Такая методика позволяет моделировать ситуацию, складывающуюся на своде после 3-5 лет эксплуатации, когда концентрация тиобацилл в бетоне достигает максимальных значений.

После двух лет экспозиции в этих средах в образцах бетона не были отмечены нарушения структуры материала, его прочности и цвета.

Для испытания устойчивости полиэтиленовых покрытий к биогенной сернокислотной агрессии в натурных условиях канализационного коллектора образцы покрытий подвешивали на своде. После трех лет экспозиции никакие повреждения в покрытиях обнаружены не были.

2.3.5.3. Практический опыт использования полимерных покрытий для защиты бетона от биогенной сернокислотной агрессии в сетях водоотведения

Термопластичные полимерные материалы имеют низкие адгезионные свойства, что усложняет технологию их применения. Чтобы повысить прочность крепления полимерных материалов к основе, прибегают к дублированию стеклотканью, байкой и др.

Донецким ПромстройНИИпроектom разработан прогрессивный способ крепления полимерных материалов на поверхности железобетонных конструкций путем механического заанкеривания в бетоне заготовок из материала, гладкого с одной стороны и ребристого с другой.

Полиэтилен с анкерными ребрами предназначен для защиты внутренних поверхностей железобетонных конструкций емкостей, эксплуатирующихся в жидких агрессивных средах, железобетонных емкостей подземных сооружений, стеновых панелей, лотков для отвода промышленных агрессивных стоков, для гидроизоляции железобетонных напорных труб и водоводов (рис. 2.7).

В Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры разработан способ ремонта и восстановления шахтных стволов путем устройства защитного покрытия из ребристой полиэтиленовой пленки. С применением этого материала в ГКП "Харьковкоммуночиствод" выполнены работы по защите от микробиологической сернокислотной агрессии канализационных шахт и трубопроводов (рис. 2.7-2.10).

Известно, что профилированная полиэтиленовая пленка (листы) применяется в Украине и за рубежом в качестве гидроизоляционного покрытия подземных конструкций или коррозионностойкого покрытия в напорных канализационных трубах. Эти защитные покрытия работают на прижим.



Рис. 2.7 — Использование полиэтиленового листа с анкерными ребрами для защиты бетонной плиты



Рис. 2.8 — Канализационная труба из полиэтилена



Рис. 2.9 — Использование полиэтиленовых листов для защиты бетона (ремонт шахт)



Рис. 2.10 — Лотковая часть канализационных трубопроводов, защищенная полиэтиленовым листом

В восстановленной железобетонной обделке заанкеренная в бетон профилированная пленка конструктивно является гидроизоляционной и коррозионностойкой облицовкой шахтной обделки, работающей под воздействием гидростатического давления на отрыв.

При первой степени разрушения железобетонной обделки смотровых колодцев и шахтных стволов защитный слой бетона не полностью разрушается коррозией. В этом случае основное назначение полиэтиленового покрытия – изолировать поверхность обделки от дальнейшего разрушительного воздействия агрессивной сернокислотной среды, для чего используется только коррозиестойкое покрытие гладкой полиэтиленовой пленкой, которая крепится к бетонной поверхности пристрелкой. Последовательность производства работ следующая: очистка и выравнивание бетонной поверхности, монтажная прихватка вертикальных, заведенных внахлест пленок, прижатие их к бетону металлическими оцинкованными шинами или жесткими пластиковыми полосами, изоляция крепежа приваренной полиэтиленовой лентой и, наконец, контроль качества сварочных работ.

Ремонт и восстановление обделок, имеющих вторую степень повреждения (с разрушенным бетонным слоем и арматурой) защищают бетонным слоем и полиэтиленовым покрытием обнаженную арматуру (полки двутавровых балок) от воздействия агрессивной газовой среды. Для этих работ используют монолитный бетон, что создает необходимые технологические условия для одновременного устройства антикоррозионного покрытия из ребристого полиэтиленового листа. Покрытие заанкеривается в укладываемом слое бетона, чем исключается механическое крепление листа к бетону. Монолитный бетон восстанавливает защиту оголенной арматуры и одновременно защищает всю площадь поверхности коррозиестойким ребристым полиэтиленовым покрытием, прочно удерживая его при твердении.

Обделки колодцев шахтных стволов канализационных коллекторов, которые разрушены агрессивной газовой средой на глубину 100 мм и более, с уменьшением размеров площади поперечного сечения жесткой арматуры (двутавровых балок) считаются статистически неустойчивыми к воздействию внешних нагрузок, т.е. находятся в аварийном состоянии. Такие разрушения относят к последней, третьей степени. В этом случае используется армонесущая сборная железобетонная конструкция из цельносекционных элементов, имеющих заводское коррозиестойкое покрытие из ребристого полиэтилена. Из ребристых полиэтиленовых листов сваривают рукава с продольным расположением анкерных ребер. Затем рукава разрезают на отрезки (кольца) шириной, равной высоте цельносекционной обделки.

На внутреннюю опалубку (сердечник) надевают полиэтиленовое кольцо и, раздвигая до проектного размера опалубку, натягивают полиэтиленовое покрытие. Затем устанавливают арматурный каркас и наружную опалубку, укладывают бетонную смесь и, наконец, производят тепловую обработку в пропарочных камерах.

2.3.5.4. Использование полимерных материалов для бестраншейного ремонта водопроводно-канализационных сетей

Плотная городская застройка, насыщенная инженерными коммуникациями, усложняет проведение ремонта водопроводно-канализационных сетей традиционными методами с разрытием траншей, что разрушает почвенный слой, уничтожает зеленые насаждения, нарушает транспортные схемы города и т.п. Поэтому все большее распространение получают бестраншейные методы ремонта – восстановление водопроводно-канализационной сети без разрытий, использование существующих трубы и колодцев.

В развитых странах разработка и применение технологий санации трубопроводов этими методами берут начало с конца 70-х годов, в России – с 1993 г.

В настоящее время известно более 50 способов бестраншейного ремонта трубопроводов. Выбор конкретного метода обусловлен целым рядом параметров – диаметром ремонтируемого трубопровода, его месторасположением, интенсивностью движения транспорта, наличием подземных коммуникаций и их пересечений, плотностью застройки территорий, длиной ремонтируемого участка, характером и степенью разрушения трубопровода и др. Кроме того, большое значение имеют технико-экономические показатели принимаемых технических решений.

Наиболее распространен способ бестраншейного ремонта путем протягивания труб из полимерных материалов в реконструируемую сеть. Этот способ, в свою очередь, делится на четыре метода – метод протягивания труб, сматываемых с бухт, метод трубных плетей, метод длинных труб, метод коротких труб. Их главное достоинство – простота и дешевизна, однако первый метод пригоден только для трубопроводов малых диаметров, а второй и третий методы требуют наличия свободной территории для рытья вспомогательной траншеи или котлована.

Обязательными для санации являются промывка, очистка и телевизионная инспекция ремонтируемого трубопровода с целью выбора метода санации.

В настоящее время в Украине возможности нового строительства ограничены экономическими показателями. Поэтому предпочтение отдается наиболее дешевым методам санации.

В России фирмы, занимающиеся санированием, достигли значительных результатов по восстановлению канализационных коллекторов. Объем санации сетей канализации в Москве составляет более 30 км/год, в Санкт-Петербурге – около 50 км/год.

В г. Харькове в настоящее время в состоянии технического износа находится около 790 км канализационных коллекторов, которые эксплуатировались 30 лет и более. До 1997 г. ремонт канализационных сетей выполняли в основном открытым способом. В 2000 г. ГКП КХ «Харьковкоммуночиствод» совместно с НПФ «Экополимер» сделали плановый

ремонт 200 м канализационного коллектора путем санации сварной полиэтиленовой трубой. Работы были проведены в течение 1,5 месяцев. На выполнение этих работ открытым способом потребовалось бы 4-5 месяцев.

Полиэтиленовые трубы сваривали с помощью установки типа УСПТ-40/63 для стыковой сварки нагретым элементом. После протяжки сварной полиэтиленовой петли в колодцах было выполнено локальное инъектирование межтрубного пространства цементно-песчаным раствором. Экономия от применения цементно-песчаного раствора по сравнению с методом санации стальной трубой составила 80-85%.

Такой метод санации целесообразен в тех случаях, когда свод ремонтируемого коллектора находится в полуразрушенном состоянии и невозможно исключить протечку грунтовых вод через стыки, а также при относительно небольших глубинах залегания в грунтах, подвергающихся динамическим нагрузкам (под автодорогами, железнодорожным полотном и т.д.). Ремонт трубопроводных сетей в соответствии с названной технологией позволяет уменьшить затраты на 50-60%, при этом он эффективен в условиях плотной городской застройки.

Технология бестраншейного ремонта трубопроводов с использованием полиэтиленовых труб позволяет продолжить время эксплуатации водопроводных систем, гарантирует восстановление не только прокорродировавших стальных трубопроводов, но и трубопроводов, построенных из железобетонных, керамических, бетонных, чугунных и асбестобетонных труб, которые имеют разные дефекты (трещины, протекания в стыках, отколы, свищи и т.п.).

2.4. Использование полимерных материалов на сооружениях очистки сточных вод

В настоящее время полимерные материалы широко используются не только на сооружениях водоотведения, но и на различных сооружениях очистки сточных вод. Наибольшее распространение на объектах канализации получили такие изделия из полимеров, как пористые трубчатые аэраторы. Трубчатый аэратор представляет собой перфорированную трубу из полимерного материала или перфорированную каркасную трубу, на которую надета труба из пористого полимерного материала (диспергатор). Перфорированная труба служит своеобразным каркасом для соединения аэратора с воздухораспределителем. Положительной особенностью трубчатых аэраторов является совмещение функций воздуховода с диспергатором, а также присутствие в них каналов между опорным каркасом и диспергирующим покрытием. Различные типы таких аэраторов с успехом эксплуатируются на городских очистных сооружениях Украины, стран СНГ и далекого зарубежья.

Фактическая годовая экономия электроэнергии от использования аэраторов фирмы "Экополимер" на аэротенках Диканевских и Безлюдовских комплексах

биологической очистки сточных вод г. Харькова достигает 1,7 млн. кВт/год, а по финансовым показателям – 119 тыс. грн.

Преимуществом использования трубчатых аэраторов является улучшение технологического процесса очистки, экономия электроэнергии на 15-20%, стойкость в агрессивных условиях, стойкость к гидроударам, надежность и долгий срок эксплуатации без регенерации, простота монтажа и обслуживания, отсутствие необходимости в спецоборудовании для отделения воды из воздухопроводов при плановых или аварийных остановках воздуходувок.

Опыт внедрения аэраторов показал, что благодаря их высокой эффективности значительно сокращаются эксплуатационные затраты на сооружения биоочистки. Срок окупаемости такой реконструкции составляет 1-1,5 года.

Заслуживает внимания и опыт НПО "Экополимер", впервые в Украине применившего при реконструкции биофильтров замену щебневой загрузки полиэтиленовыми и поливинилхлоридными гофрированными листами.

2.5. Изделия из вторичного полиэтилена в коммунальном хозяйстве

Быстрый рост индустрии пластических материалов заметно опережает развитие инфраструктуры переработки пластмассовых отходов. Согласно статистическим данным в настоящее время в мире ежегодно накапливается до 20 млн.т отходов пластмасс. Из них 20 – 40 % по массе сжигаются, 35 – 70 % складываются на полигонах, свалках или просто закапываются в землю и только 15 – 30 % – подвергаются рециклингу.

Основной продукцией из полимерных отходов, используемой в коммунальном хозяйстве, являются погонажные изделия строительного или другого назначения (в частности трубы и профильно-погонажные изделия), корпусные изделия, а также лаки и краски.

Трубы из полимерных отходов обладают высокой антикоррозионной устойчивостью, относительно недороги, резко сокращают расход дефицитных стальных труб. Трубы безнапорные, получаемые прямой экструзией, могут применяться взамен металлических, асбоцементных или керамических для транспортирования жидких продуктов при невысоких давлениях (обычно до 0,25 Мпа), для устройств канализационных стоков, для скрытых водостоков жилых и производственных зданий, для каналов связи, при прокладке силовых и слаботочных электрических сетей и др.

Разработаны грунтопрокалывающие установки для прокладки пластмассовых труб в качестве кожухов на пересечениях в городе подземных коммуникаций с инженерными сооружениями. Они позволяют делать скважины диаметром до 630 мм, в которых могут прокладываться трубы диаметром до 400 мм. Продолжительность эксплуатации кожухов из отходов полиэтилена равна не менее 50 лет, в то время как ранее используемые кожухи из стальных труб требуют замены через 10 лет.

Экструзионно-прессовым методом из полимерных отходов целесообразно изготавливать корпусные изделия, элементы транспортных поддонов, решетчатые

полы, тротуарную плитку, решетки для уличных стоков дождевой и талой воды, различные элементы конструкций канализационных стоков, прототипы черепицы, шифера и др. (рис. 2.11-2.14). Если механические свойства полимерных отходов недостаточные, на их основе целесообразно изготавливать полимерные композиции с волокнистыми наполнителями.

В последнее время все чаще используют в качестве наполнителя композиционных материалов на основе отходов полиэтилена древесные опилки, стружку, отходы сельхозпродукции, например, лузгу проса, подсолнечника, костру и др. Получаемые методом прессования плиты и листы из таких композиций можно использовать как конструкционный материал для изготовления каркасных зданий, благоустройства очистных сооружений, станций биологической очистки сточных вод и др.

Профильно-погонажные изделия из полимерных отходов целесообразно изготавливать методом непрерывного литья под давлением. Этим методом довольно просто изготавливать изделия в виде досок, брусьев, уголков, тавров, швеллеров и других сложных открытых профилей произвольной длины с толщиной базовой стенки не менее 10 мм. Область использования такой продукции очень широкая. Это – технические полы, направляющие различного назначения, каркасы фильтрующих устройств, отстойники, скользящая опалубка и др. Например, на базе каркаса из полимерных профилей легко изготавливаются и надежно эксплуатируются фильтры из фильтрующих полимерных материалов, в частности из отходов синтетических волокон (фильтрная рвань и др.).

Таким образом использование полимерных отходов в коммунальном хозяйстве города является весьма перспективно, но в настоящее время оно сдерживается низкой мощностью индустрии переработки полимерных отходов и отсутствием необходимой нормативно-технической документации.



Рис. 2.11 — Изделия из вторичного полиэтилена (тротуарная плитка)

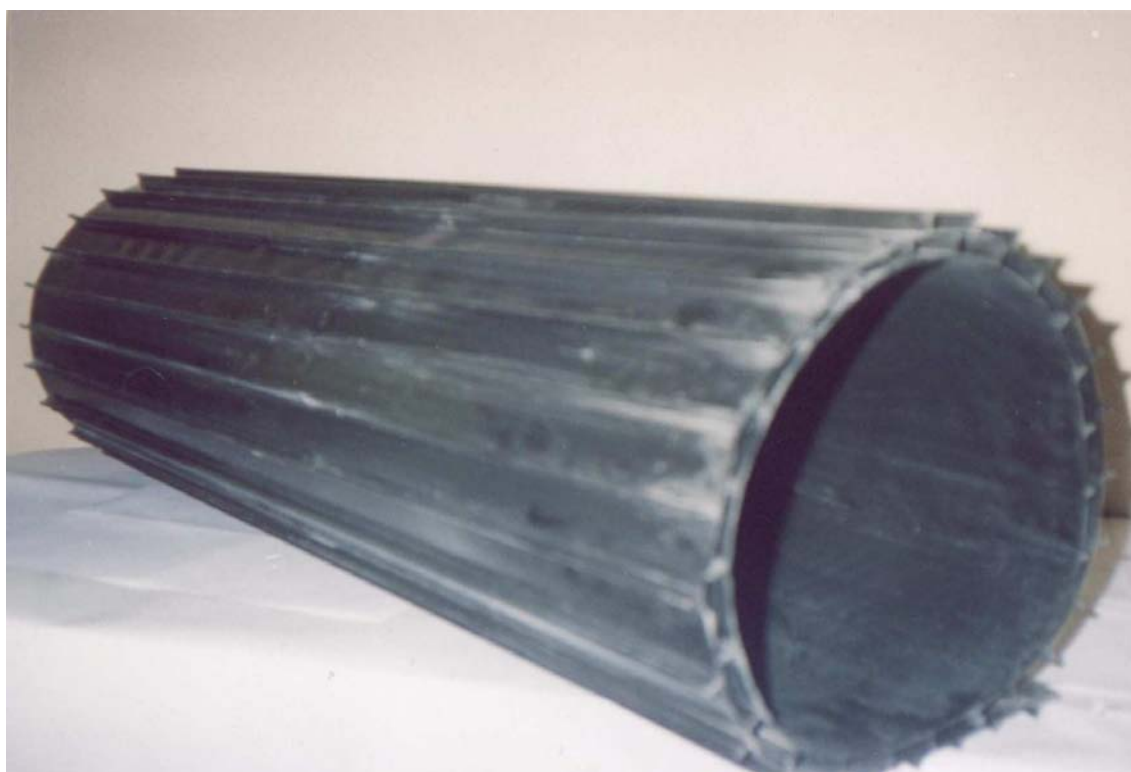


Рис. 2.12 — Изделия из вторичного полиэтилена (лист с анкерными рёбрами)



Рис. 2.13 — Изделия из вторичного полиэтилена: трубы



Рис. 2.14 — Изделия из вторичного полиэтилена: решётка
для ливнестока



Рис. 2.15 – Крышки канализационных люков, изготовленные из вторичного полимерного сырья

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные группы полимерных материалов, поступающих на мировой рынок.
2. Использование полимерных материалов в автомобилестроении, железнодорожном транспорте, химической и пищевой промышленности.
3. Основные направления применения различных материалов в строительстве.
4. Основные направления применения различных материалов в коммунальном хозяйстве.
5. Экологическая безопасность и эксплуатационная надежность сетей водоотведения.
6. Основные гипотезы коррозионного разрушения бетона в сетях водоотведения.
7. Особенности микробиологической коррозии конструктивов.
8. Основные этапы коррозионного разрушения бетона сводовой части трубопроводов водоотведения.
9. Динамика химических, микробиологических и минералогических показателей в процессе коррозии бетона.
10. Происхождение и химический состав коррозионно-агрессивных сред (газообразной и жидкой) в сетях водоотведения.
11. Миграция углерода, серы и азота в техногенной экосистеме самотечных трубопроводов водоотведения.
12. Основные направления и конкретные мероприятия борьбы с коррозией сетей водоотведения.
13. Основные результаты применения биоцидов для борьбы с бактериями – возбудителями коррозии бетона.
14. Основные характеристики коррозионно-агрессивных воздействий, оказываемых грибами на полимерные материалы.
15. Устойчивость полимерных материалов к микробиологической коррозии.
16. Принцип метода оценки эффективности различных покрытий в защите бетона от биогенной сернокислотной агрессии.
17. Причины низкой эффективности защиты бетона некоторыми полимерными покрытиями.
18. Основные направления применения полимерных материалов в системах водоотведения.
19. Использование полимерных изделий для защиты бетонных трубопроводов водоотведения.
20. Использование полимерных изделий для бестраншейного ремонта сетей водоотведения.
21. Основные методы санации сетей полимерными материалами в зависимости от глубины коррозионного поражения бетона.
22. Использование полимерных изделий на сооружениях очистки сточных вод.
23. Опыт применения вторичных полимеров в коммунальном хозяйстве.

Раздел 3. Технология и оборудование для переработки вторичных полимеров

Проблем, связанных с утилизацией вторичного полимерного сырья, много. Они имеют свою специфику и требуют решения. Это и организация сбора, сортировки и первичной обработки амортизированных материалов и изделий; и разработка системы цен на вторичное сырье, стимулирующих предприятия к созданию эффективных способов переработки, а также методов его модификации с целью повышения качества; и выпуск специального оборудования для переработки; и разработка номенклатуры изделий, выпускаемых из вторичного полимерного сырья.

Возрастающий спрос на пластмассы при сохраняющихся значительных ценах на них и одновременном росте стоимости их захоронения создает предпосылки для повторного использования промышленных и бытовых полимерных отходов (ПО). Необходимость утилизации ПО диктуется в первую очередь интересами защиты окружающей среды. С точки зрения экологии утилизация отходов полимерных материалов необходима, так как они являются одним из наиболее опасных источников загрязнения.

ПО не гниют, не разлагаются и в естественных условиях разрушаются в течение 80-100 лет, загрязняя окружающую среду. Полимерные отходы рассредоточиваются на свалках, часто стихийных, в лесополосах, в ближайших к населенным пунктам лесах, полях. Частично их сжигают на свалках, во дворах, на мусоросжигательных заводах, при этом в атмосферу выделяются ядовитые продукты (фтористый и хлористый водород, фосген, цианистые, а также диоксинсодержащие соединения, обладающие канцерогенным действием).

В то же время переработка и утилизация ПО позволяет экономить ценное первичное сырье и энергию. Так, в Австрии в 1996 г. материальная утилизация 38 тыс.т отходов пластмассовой упаковки позволила сэкономить в стране 34 тыс.т первичных пластмасс и 38 млн.л нефти, а также снизить выбросы CO₂ на 23800т. Термическая переработка еще 20,15 тыс.т отходов упаковки дала возможность сэкономить 15,7 млн.л нефти.

Следует отметить, что утилизация промышленных ПО не вызывает особых затруднений. Как правило, эти отходы перерабатываются на тех же предприятиях, где они образуются.

Наибольшую сложность представляет утилизация отходов потребления населением пластмасс, объемы образования которых в 3-4 раза превышают объемы образования промышленных ПО.

По данным международной статистики, содержание отходов потребления пластмасс в муниципальных отходах в среднем составляет 6-8 %. В таких странах, как Япония содержание пластмасс в ТБО достигает 20 %. Считается, что 80-95 % всех образующихся ПО может быть вовлечено в повторную переработку.

Повторное использование ПО законодательно поощряется в США, странах Западной Европы и в Японии. Вместе с тем в США принимаются меры к ограничению применения не подвергающихся утилизации ПО (например,

некоторые виды отходов упаковки из пенополистирола), а в Швейцарии, Дании, Австрии и Италии ограничивают потребление контейнеров из поливинилхлорида (ПВХ).

В целом вследствие многообразия видов образующихся ПО, широкого диапазона их свойств, отсутствия или несовершенства системы сбора ПО и слабого развития научной и производственной базы по их переработке уровень использования отходов потребления пластмасс в различных странах не превышает 5-15 %. Однако можно с уверенностью констатировать, что проблема переработки и повторного использования ПО является довольно актуальной.

В настоящее время четкая классификация полимерных отходов отсутствует, но имеющийся сегодня практический опыт их утилизации позволяет разделить ПО на четыре группы, каждая из которых требует различных хозяйственно-организационных и специфических технологических мероприятий для вовлечения в переработку:

1. *Технологические отходы производства*, которые возникают при синтезе и переработке пластмасс. Та часть отходов, химические, физические и механические свойства которых соответствуют нормам технологического процесса данного производства, может быть вовлечена в повторную переработку, а остальные отходы, не гарантирующие высокого качества изделий (при обычных способах вторичной переработки), уничтожаются или передаются в качестве вторичного сырья на другие перерабатывающие предприятия.
2. *Отходы производственного потребления* – накапливаются в результате выхода из строя изделий из полимерных материалов, используемых в различных отраслях народного хозяйства. Эти отходы являются наиболее однородными, малозагрязненными, поэтому представляют наибольший интерес с точки зрения повторной переработки. Обычно эти отходы измельчают в ножевой дробилке, а затем пропускают через одночервячный экструдер с целью гомогенизации, стабилизации, окрашивания и грануляции.
3. *Полимерные отходы сферы производства и потребления* содержат отходы термопластов, которые образуются при производстве и потреблении как использованные продукты (например, пленочные материалы в сельском хозяйстве, упаковочные материалы в торговле и др.). Такие отходы обычно сильно загрязнены, содержат инородные тела, имеют повышенную влажность.
4. *Отходы общественного потребления* накапливаются у населения, на предприятиях общественного питания и т.д., а затем попадают на городские свалки; в конечном итоге они переходят в новую категорию отходов – смешанные отходы.

Наибольшие трудности связаны с переработкой и использованием последних отходов. Причиной здесь является несовместимость термопластов, входящих в состав бытового мусора, что требует их поэтапного выделения.

3.1. Проблемы и перспективы комплексной

утилизации ТБО

Особенностью формирования экологической обстановки в регионах Украины является наличие большого количества накопленных за многие годы как промышленных, так и твердых бытовых (ТБО) отходов. В этой связи актуальность проблемы их утилизации становится очень острой.

Предварительная подготовка и передача на переработку ТБО уменьшит загрязненность окружающей среды, позволит обеспечить максимальное извлечение полезных сырьевых компонентов из ТБО, содержание которых в общем составе отходов довольно значительное.

Анализ санитарной очистки показывает, что в составе бытовых отходов доля полимерных материалов возрастает и на сегодня в густонаселенных регионах достигает 8-12 %. При этом следует отметить, что накопление ресурсно-ценных компонентов в составе ТБО увеличивается, особенно полимерных отходов, и опережает возможности их переработки, так как методы повторного использования их в виде гранулята вторичного сырья еще не нашли широкого распространения.

Рост затрат на захоронение ТБО, большие и все увеличивающиеся маршруты к местам захоронения создают постоянную экологическую опасность в виде возникновения несанкционированных свалок. Все это требует дополнительных затрат на обустройство действующих и строительство новых полигонов с мусороперегрузочными станциями, стимулирует переход к промышленной переработке ТБО.

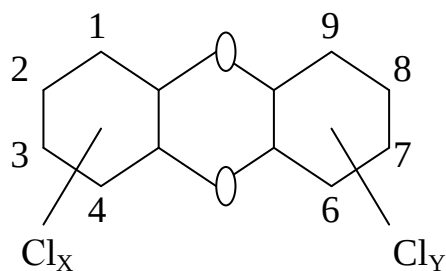
Промышленная переработка твердых бытовых отходов предопределяет следующие научно обоснованные направления:

- эколого-экономическая ее задача;
- экологическое образование населения;
- механизированная сортировка ТБО, создание мусоросортировочных станций;
- селективный сбор ресурсно-ценных сырьевых компонентов, входящих в состав ТБО;
- повторная переработка «сырьевого» мусора, наиболее ресурсно-ценных компонентов методом рециклинга во вторичное сырье;
- изготовление изделий, готовой продукции из вторичного сырья для коммунального хозяйства и инфраструктуры городов;
- использование недосортированной части ТБО в виде компостирования, брикетирования, биогаза с целью уменьшения или полного отказа от мусоросжигания;
- создание минисжигательных установок только для использованных медицинских препаратов;
- определение конкретных изданий в периодической печати (легкодоступных для населения) для освещения экологических проблем.

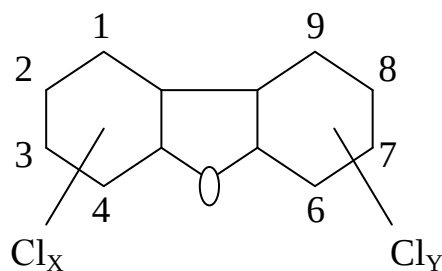
При таком комплексном подходе имеется реальная возможность использовать 50-60 % ТБО в качестве вторичного сырья, полученного методом рециклинга и разработанных технологий (рис.3.1). Это значительно снизит

нагрузку на полигоны и мусоросжигающие заводы (МСЗ), т.е. густонаселенному региону мусоросжигающего комплекса небольшой мощности (40-60 тыс.т/год) будет достаточно, если учесть, что значительная часть полимерных и органических отходов, образующих диоксины и наиболее вредные продукты сгорания, будет отсортирована для вторичной переработки и компостирования.

В процессе сжигания ТБО, особенно в условиях недожога, образуются высокотоксичные соединения – полихлордibenзодиоксины и полихлордibenзофураны, структурные формулы которых приведены ниже.



Полихлордibenзодиоксин



Полихлордibenзофуран

Существует два механизма образования диоксинов и фуранов:

- из углерода в процессе его окисления при избытке кислорода в присутствии соединений хлора (и брома) как катализаторов (в реакции практически участвуют углеродсодержащие частицы летучей золы, хлориды, источником которых могут быть хлорсодержащие пластмассы типа ПВХ, бромсодержащие составы, присутствующие в электронном ломе в качестве антивоспламенителей, и соединения меди);
- из соединений, которые уже имеют похожую структуру, например, хлорбензолов и хлорфенолов (содержание, например, гексахлорбензола в ТБО небольшое – 0,0005 г/т, но иногда достигает 0,014 г/т).

Можно отметить два основных пути образования диоксинов и фуранов при термической переработке ТБО:

- первичное образование в процессе сжигания ТБО при температуре 300 – 600°C;
- вторичное образование на стадии охлаждения дымовых газов, содержащих HCl, соединения меди (и железа) и углеродсодержащие частицы при температуре 250 – 450°C (реакция гетерогенного оксихлорирования частиц углерода).

Температура начала распада диоксинов – 700°C, нижний температурный предел образования диоксинов – 250 – 350°C.

Чтобы обеспечить на стадии газоочистки снижение содержания диоксинов и фуранов до требуемых норм (0,1 нг/м³), при сжигании должны быть реализованы так называемые первичные мероприятия, в частности «правило двух секунд» - геометрия печи должна обеспечить продолжительность пребывания газов не менее 2 сек. в зоне печи с температурой не ниже 850°C (при концентрации кислорода не менее 6%).

Стремление к достижению при сжигании максимально высоких температур и созданию дополнительных зон дожигания не решает полностью проблему снижения концентрации диоксинов в отходящих газах, так как при этом не учитывается способность диоксинов к новому синтезу при понижении температуры. В то же время с увеличением температуры растут выход летучих

металлов и их содержание в летучей золе (особенно с увеличением содержания в сжигаемых отходах хлорорганических веществ).

Теоретически возможны два способа подавления образования диоксинов:

- связывание образующегося при сжигании ТБО НС1 с помощью соды, извести, гидроксида калия;
- перевод в неактивную форму ионов меди и железа, например, связывание меди в комплексы с помощью аминов.

В результате механизированной сортировки после отбора ресурсно-ценных сырьевых компонентов 25-30 % отходов будут сожжены, а на полигон поступит недосортированный остаток 10-15 % от общего объема накопленных ТБО. Значительно снизится динамика образования стихийных несанкционированных свалок.

Данные исследований количественных характеристик объемов несанкционированных свалок в г. Харькове: 1998 г. – 177,876; 1999 г. – 478,586; 2000 г. – 861,918; 2003 г. – 48,0 тыс.м³.

Как видно из этих данных, прирост стихийных свалок в 1999 г. составил 300,71 тыс.м³, в 2000 г. – 383,3 тыс.м³; общее накопление – 861,9 тыс.м³ несанкционированных свалок города на 2000 г. составило дополнительно 97,8 % бытовых отходов к годовой норме вывоза на полигон 870 – 880 тыс.м³ и 57,9 % к годовой норме накопления отходов 1500 тыс. м³. За 2003 г. объем несанкционированного размещения ТБО в городе значительно снизился и составил 6 % от фактически утилизированных отходов на полигоне, однако количество стихийных свалок объемом до 1000 м³ остается значительным.

Диаграмма роста стихийных свалок объемом до 50 и свыше 1000 м³ показывает динамику их образования (рис.3.2).

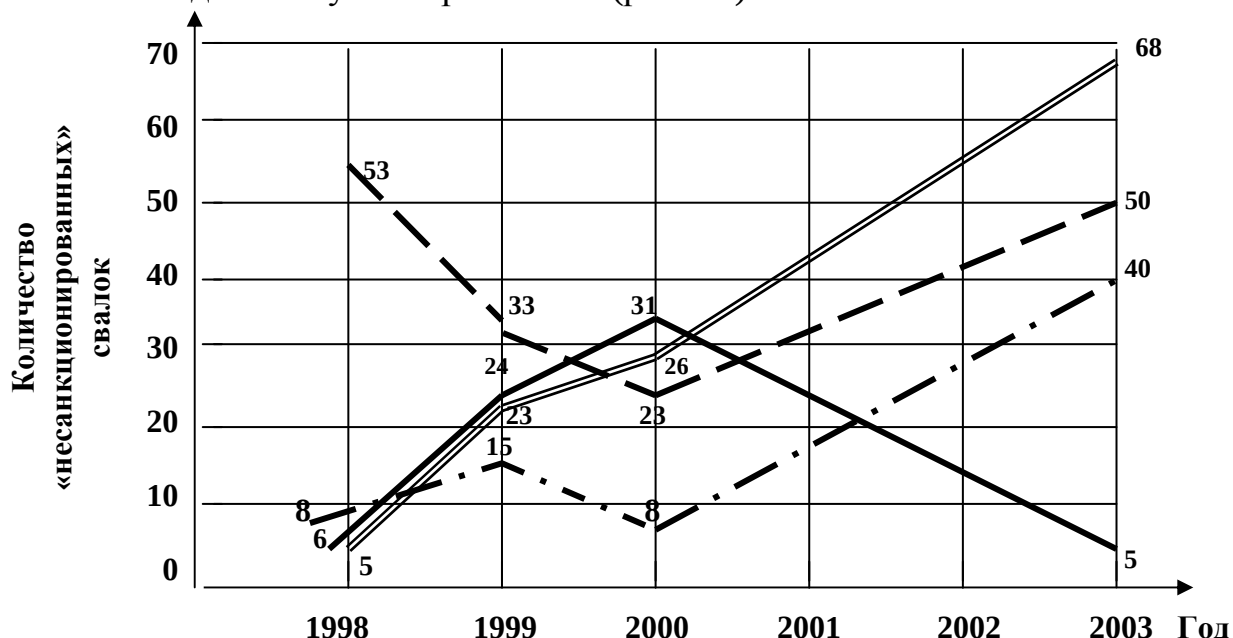


Рис. 3.2 – Диаграмма роста стихийных свалок г. Харькова за 1998 – 2003г.г.

Условные обозначения: свалки объемом до:

50 м ³ -----	1000м ³ =====
100 м ³	свыше 1000 м ³ =====

Говоря о месторасположении несанкционированных свалок г. Харькова, их объемах, следует отметить характер морфологического состава бытового мусора.

Преобладающей составной частью отходов являются тара и упаковка из полимерных материалов, ПЭТ - бутылки.

Исследования морфологического состава ТБО Московского, Орджоникидзевского и Фрунзенского районов г. Харькова в 1998 г. показывают следующее содержание отдельных компонентов ТБО (в пересчете на сухую массу):

6,48 % – полимерные отходы; 7,6 % – стеклобой; 1,1 % – макулатура; 3,4 % – металл; влажность отходов до 50 – 58 %.

Бытовой мусор содержит в большом количестве легкоразлагающиеся органические вещества и при значительной влажности является благоприятной средой для развития гельминтов и размножения болезнетворных микроорганизмов.

При нарушении сроков удаления бытовых отходов, они, разлагаясь, выделяют большое количество газов, фильтрата и продуктов неполного разложения, что приводит к загрязнению внешней среды вредными веществами.

Бытовые отходы имеют разнородный состав. На основании исследований последних лет в Украине усредненный морфологический состав твердых бытовых отходов характеризуется следующими данными (в % к общей массе):

от благоустроенного жилищного фонда: макулатура (бумага, картон) – 22, полимерные отходы (в т.ч. ПЭТ-бутылки – 0,8-1%) – 7,87; металл черный – 1,87; металл цветной – 0,5; стекло – 5,5; древесина – 1,14; текстиль – 4,53; кожа, резина – 1,82; пищевые и растительные отходы – 39,59; камни, керамика, стройотходы – 1,75; кости – 0,5;

от нежилого благоустроенного фонда (крупные торговые центры, стадионы, парки, школы, базары и др.): макулатура (бумага, картон) – 53; полимерные отходы (в т.ч. ПЭТ-бутылки – 0,8-1%) – 8,5; металл черный – 2; металл цветной – 0,5 ; стекло – 6; древесина – 1; текстиль – 3; кожа, резина – 1,2; пищевые и растительные отходы – 4,2; прочие – 20,6.

Состав и количество бытовых отходов зависят от целого ряда факторов: степени благоустройства строений, наличия мусоропроводов, системы отопления, наличия водопровода и канализации.

В последние годы наблюдается снижение средней плотности ТБО. В результате изменения социально-бытовых условий за 10 лет в Украине плотность бытовых отходов уменьшилась с 0,3 – 0,5 до 0,18 – 0,23 т/м³. Снижение средней плотности бытовых отходов, особенно в крупных городах и густонаселенных регионах, обусловлено значительным увеличением содержания в составе ТБО макулатуры, разовой тары и упаковки, полимерных отходов, ПЭТ-бутылок, других легких составляющих.

Влияние степени благоустройства жилого фонда на количество накапливающихся отходов показано на рис. 3.3.

Нормы накопления твердых бытовых отходов определяют периодически, не реже одного раза в 5 лет. Замеры необходимо проводить ежемесячно в течение года. Продолжительность проведения замеров накопления ТБО при суточном

(ежедневном) вывозе составляет 7 дней, а при вывозе отходов через 1-3 дня – по 10 дней в каждом месяце с учетом времени года (зима, весна, лето, осень).

Уменьшение продолжительности замеров не дает достоверных данных о усредненных нормах накопления бытовых отходов.

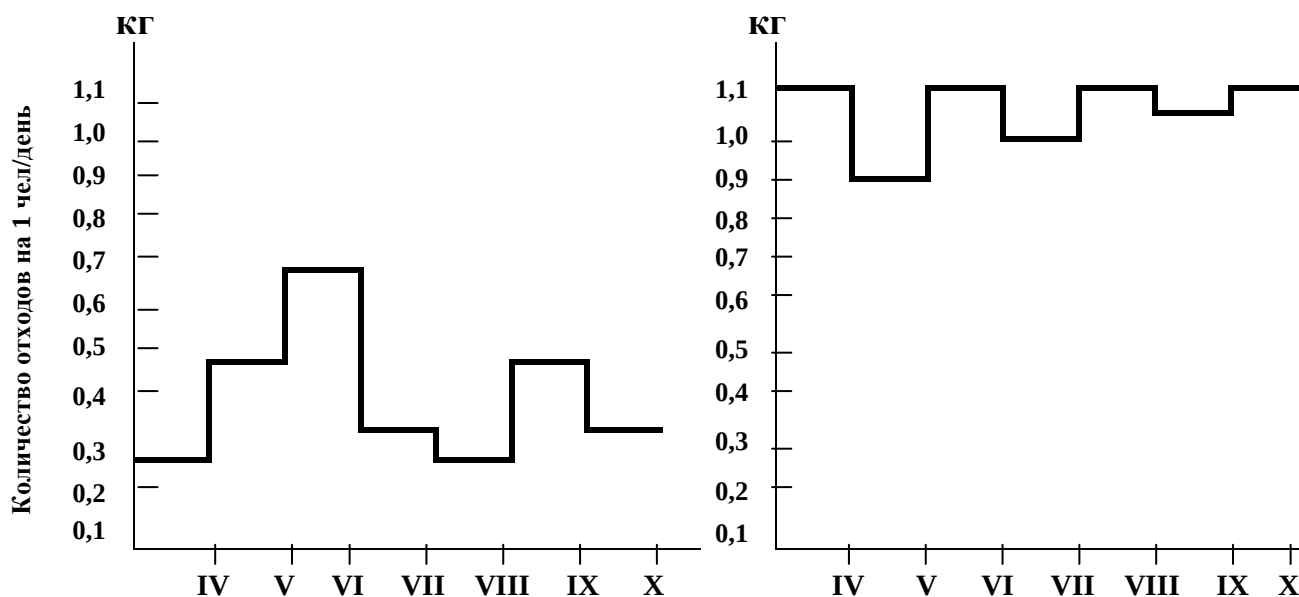


Рис. 3.3 – Изменение количества отходов по месяцам в зависимости от благоустройства жилого фонда: а) благоустроенный жилой фонд; б) неблагоустроенный жилой фонд

Норма накопления бытовых отходов на одного человека в сутки в объемных показателях определяется делением всего объема удаляемых бытовых отходов с данного объекта на число расчетных единиц и дней между вывозами. Основными составляющими ТБО, влияющими на их сбор, сортировку, переработку и определяющими выбор технологий и оборудования, являются пищевые отходы, бумага и влажность.

Увеличение органической фракции в мусоре находится в прямой зависимости от содержания в ТБО пищевых отходов, а содержание последних обусловлено социальными условиями жизнедеятельности населения, которые изменяются в соответствии с экономической обстановкой в регионах Украины.

Пищевые отходы содержат большое количество воды, что влияет на влажность мусора, которая колеблется в пределах 30 – 58 % (максимум осенью). Поэтому их целесообразно отдавать от общей массы ТБО (раздельный сбор), так как при совместном сборе, хранении и транспортировке ресурсно-ценные компоненты (бумага, ветошь и др.) теряют свои качества и не пригодны для вторичной переработки.

Взаимосвязь и влияние содержания отдельных компонентов, входящих в состав ТБО, показаны на рис.3.4, 3.5, 3.6.

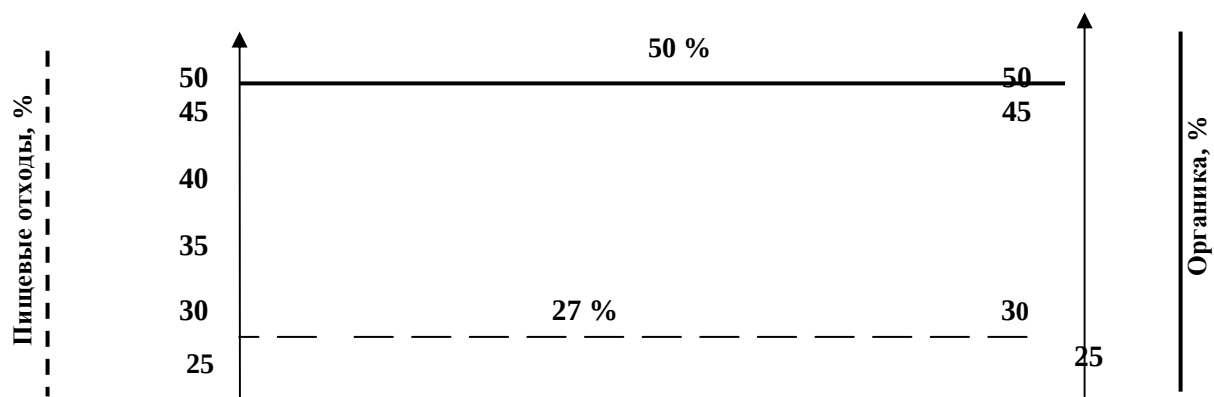


Рис. 3.4 – Влияние содержания пищевых отходов на увеличение органики в мусоре

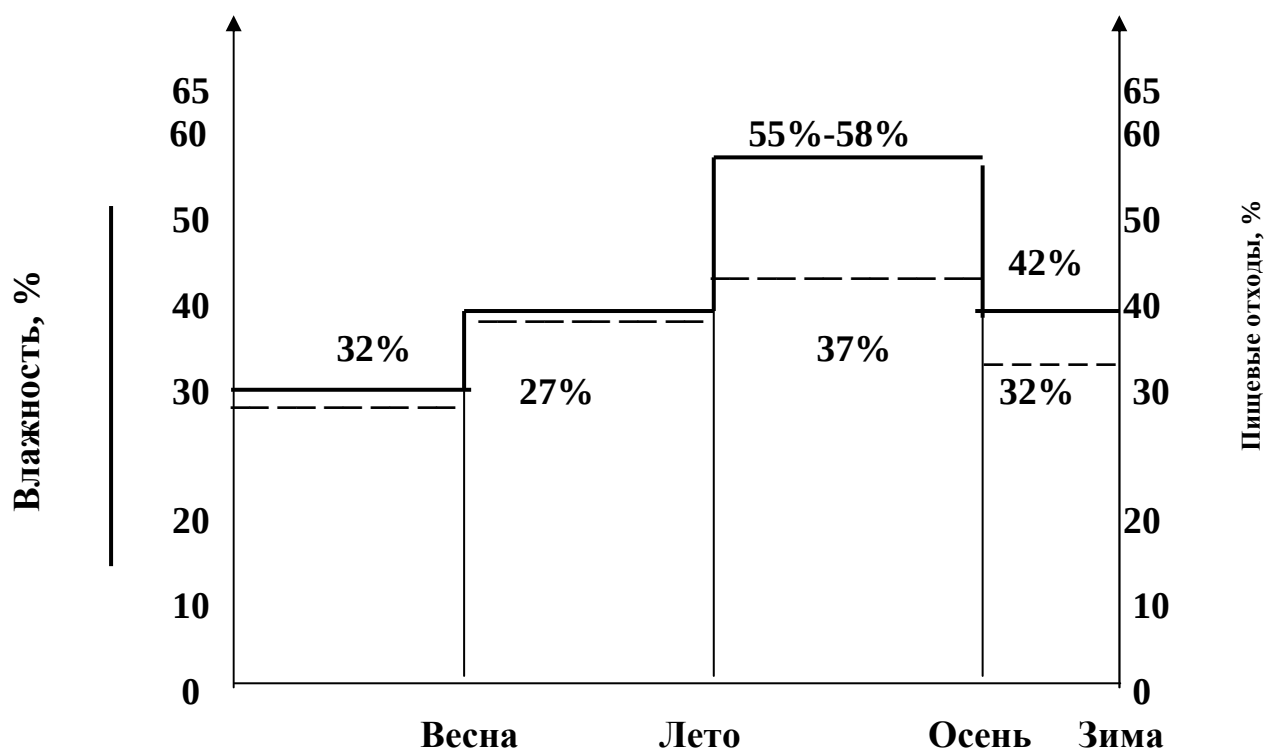


Рис. 3.5 – Влияние содержания пищевых отходов на влажность мусора

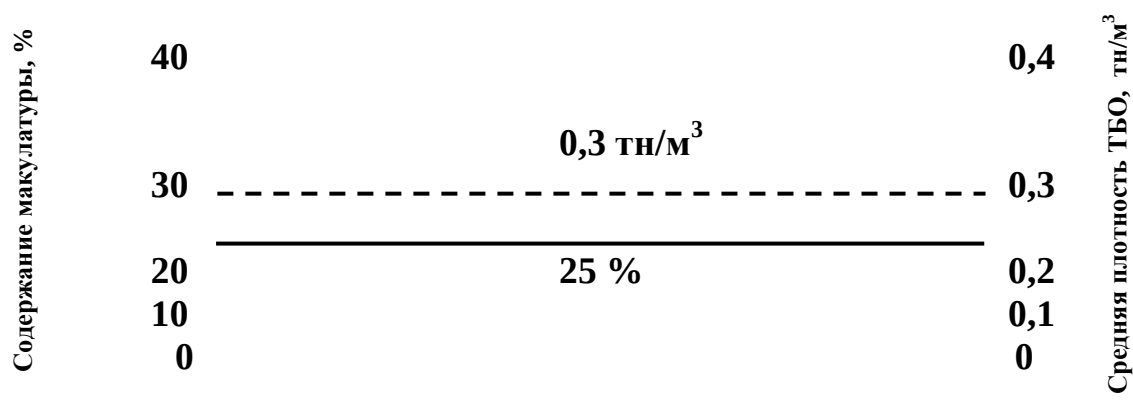


Рис. 3.6 – Зависимость средней плотности ТБО от содержания макулатуры и упаковочной тары

Приведенные данные о ТБО свидетельствуют о прямой связи показателей их морфологического состава, поэтому в каждом регионе Украины необходимо объекты исследования подбирать типичными, так как при сборе и замерах процентного содержания компонентов, входящих в состав ТБО, нельзя смешивать отбросы от объектов различного вида.

Организация сбора, удаления и переработки твердых отходов в г. Харькове, втором по величине городе Украины, сходна с системами, действующими в других украинских городах.

ГКП «Харьковкоммуночиствод» при участии АО «Харьковкоммун-промсервис», ПКИ «ЮжтрансНИИпроект» и предприятия «Экотехника» разработали проект «Опытно-экспериментального производства переработки полимерных отходов производительностью 1500 т/год». Изготовлено и смонтировано оборудование технологических линий для получения вторичного сырья из полимерных отходов в виде гранул. Объект сдан в эксплуатацию в 2001г. Капитальные затраты составили 500 – 540 грн./т. Ожидается прибыль 560 – 600 грн./т от реализации гранулята из вторичных полимеров.

Разработаны технико-экономическое предложение (ТЭП), технология, техническая документация на изготовление специализированного оборудования для опытно-экспериментального производства по сортировке и переработке ТБО производительностью 40000 т/год, или 160000 м³/год. Ввод в эксплуатацию I очереди намечен в 2004 г. Капитальные затраты на строительство мусоросортировочного производства составят 75-90 грн. за 1 т ТБО. Ожидаемая прибыль – 115-120 грн. за 1 т реализованной продукции, отсортированной от ТБО. Экономический эффект от снижения нагрузки на полигон составит до 55 грн. на 1 т образующихся отходов.

Следует отметить, что без внедрения сортировки, отдельного сбора и переработки ценных сырьевых компонентов ТБО ресурс полигона быстро вырабатывается. Кроме того, сортировка ТБО должна обязательно предшествовать сжиганию отходов на мусоросжигательном заводе (МСЗ), потому что кроме образования экологически опасных диоксидов поступление несортированных отходов в печь для сжигания просто опасно.

Таким образом, научно-техническое обоснование проблем комплексной утилизации ТБО регионов Украины позволит решить две задачи:

- экологическую – уменьшится количество накопленных отходов, значительно снизятся объемы отходов, подлежащих сжиганию на МСЗ и захоронению на полигоне, и тем самым значительно снизится содержание токсичных выбросов в атмосферу;
- экономическую – предварительный сбор и сортировка ТБО позволят вернуть в переработку значительное количество вторичного сырья, макулатуры, полимеров и др.

Необходимо сделать сортировку и переработку «сырьевого» мусора обязательной, тогда несанкционированные свалки и полигоны в городах Украины станут источником прибыли.

Сравнительные экономические показатели эффективности различных технологий обращения с ТБО приведены на рис 3.7, 3.8, 3.9.

В качестве практического примера можно назвать работу ГКП «Харьковкоммуночиствод», которое обеспечивает водоотведение с биологической очисткой стоков, в том числе от промышленных предприятий (гальваносток и др.), санитарную очистку города со среднегодовым объемом вывоза 280-300 тыс. м³/год ТБО при потенциальной возможности до 500 тыс. м³/год. Учитывая целесообразность утилизации обезвоженного осадка путем производства органоминеральных удобрений, проведена исследовательская работа по определению технологии и оборудования для извлечения тяжелых металлов из промывных вод гальванических производств г. Харькова. Разработано технико-экономическое обоснование для создания специализированного опытно-экспериментального центра (ОЭЦ) по переработке промывных вод и отходов гальванических производств с получением товарной продукции в виде чистых металлов (медь, никель, хром, цинк, железо и др.) и сопутствующей им товарной продукции в виде химических соединений.

Решается вопрос утилизации нефтешламов, отработанных масел, изношенных шин (рис.3.10).

Таким образом, поэтапный, технически и научно обоснованный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке ТБО путем разработки пилотных проектов и создания опытно-экспериментальных производств – основная тенденция решения проблемы комплексной утилизации ТБО. Такой путь должны пройти все регионы Украины и в первую очередь регионы с высокой плотностью населения, где накопление отходов максимальное при сравнительно небольших площадях проживания. Предложения использовать для переработки всех компонентов, входящих в ТБО, один конкретный способ или монотехнологию приведет к большим материальным затратам и лишь усилит их вредное негативное влияние на окружающую среду, например, если переработку отходов осуществлять только путем мусоросжигания.

Преимуществом комплексной переработки ТБО является эколого-экономическая оценка направлений и технологий переработки – сортировка, селективный сбор, переработка ресурсно-ценных компонентов ТБО, другие комбинации и

Диаграммы эффективности различных технологий обращения с ТБО со сравнительной (ориентировочной) структурой расходов и прибыли.

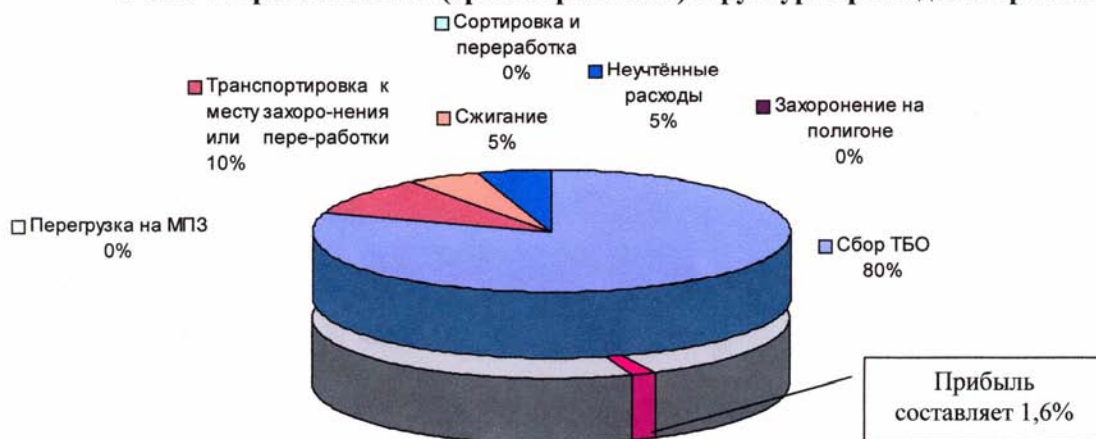


Рис 3.7. Сжигание на Безлюдовском МСЗ.

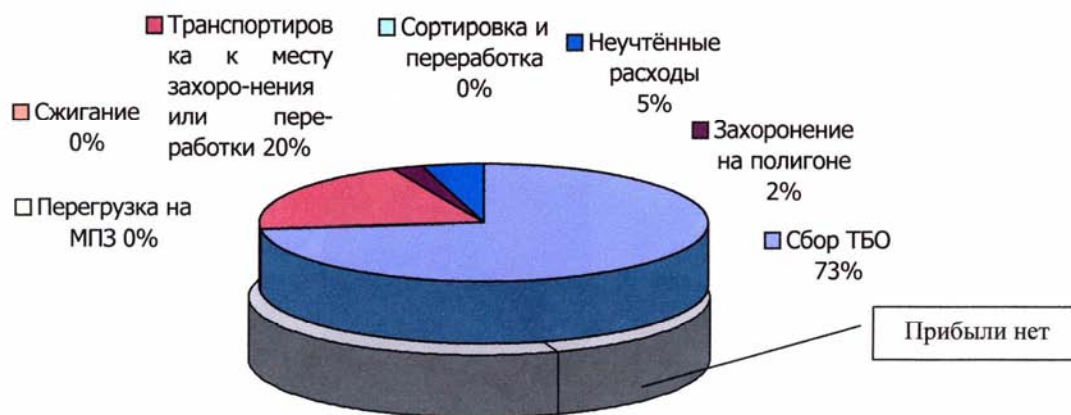


Рис. 3.8. Захоронение на полигоне в Дергачах.



Рис. 3.9. Сортировка и переработка на мусороперерабатывающих центрах (МПЦ).

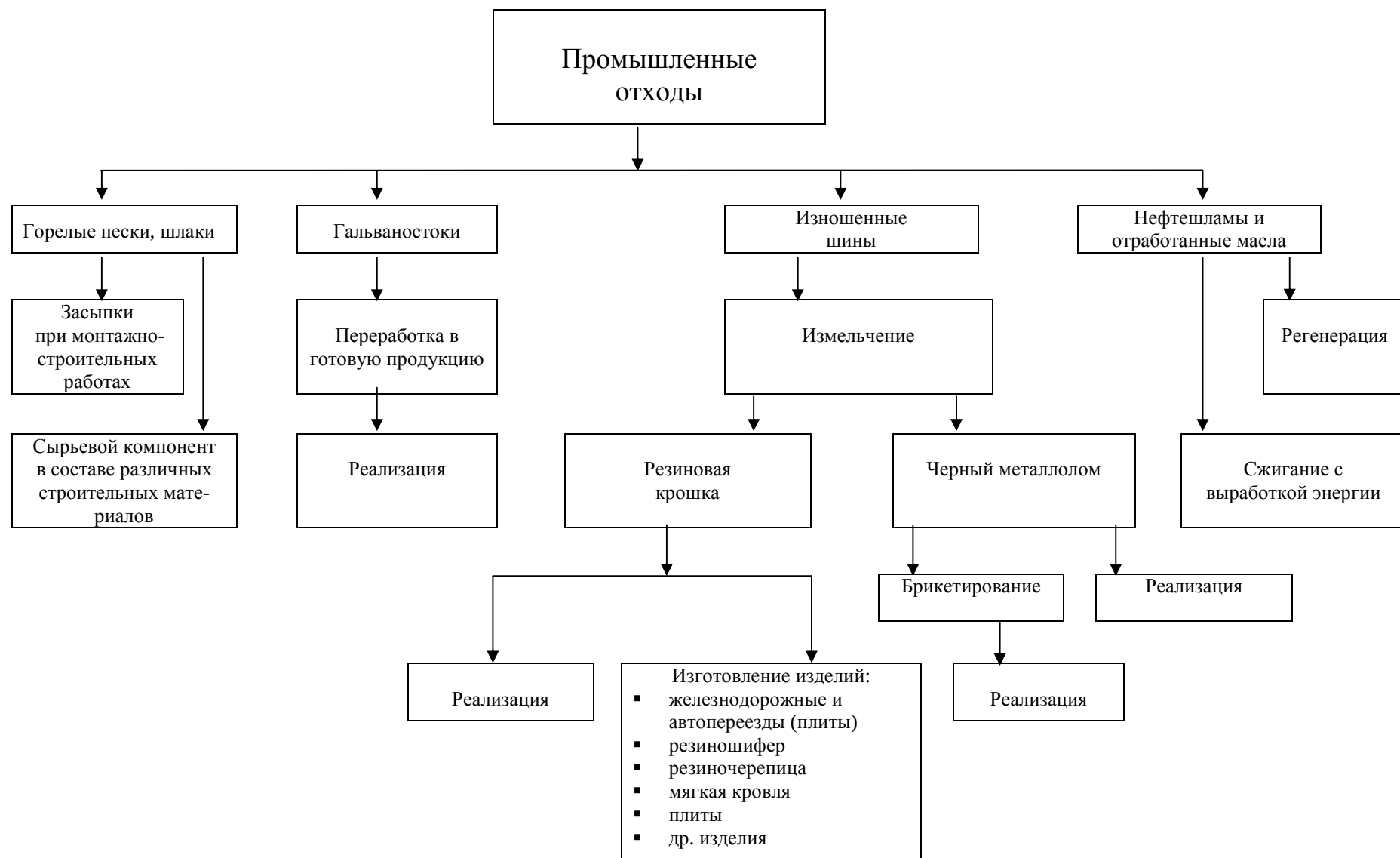


Рис. 3.10 – Структурная схема переработки промышленных отходов в г. Харькове

сочетания технологий в сфере обращения с отходами.

Отсутствие эффективных отечественных технологий комплексной переработки ТБО, рассчитанных на морфологический состав «местных отходов», сдерживает создание прогрессивной промышленной отрасли их переработки. Это можно объяснить лишь недооценкой научно-технического подхода к данной проблеме. Механический перенос западных технологий не учитывает морфологического состава «местных отходов», более сложных по своему составу, чем ТБО западных стран, в том числе стран Средней Европы (технологии фирмы «ORFA» (Швейцария), «Умвельт-техник» (Германия)). Технологии этих фирм практически не прижились в Харьковском регионе.

Переработка отходов остается актуальной проблемой сегодня, решать ее необходимо в комплексе, поэтапно и последовательно. Начинать нужно с экологического образования населения и механизированной сортировки отходов.

Учитывая ежегодный прирост объемов ТБО (до 3 %), можно сделать вывод, что проблема ТБО не может решаться непромышленным методом. Тем не менее сбор у населения отсортированных незагрязненных вторичных отходов ресурсно-ценных компонентов (полимеры, макулатура, ПЭТ-бутылки и др.) не противоречит промышленной переработке ТБО и должен рассматриваться как составная часть решения комплексной проблемы ТБО. Трудность здесь в том, что в ближайшее время сложно организовать повсеместный селективный сбор пригодных для вторичной переработки отходов у населения (сказывается неподготовленность экологического образования), поэтому приоритетным направлением сепарации ТБО будет их механизированная сортировка.

Решение проблемы комплексной утилизации ТБО в регионах Украины предусматривает повсеместную поддержку всех структур, привлечение бюджетных и внебюджетных материальных затрат и средств для реализации Комплексной программы санитарно-эпидемиологического состояния густонаселенных регионов Украины.

В соответствии с Директивами Европейского сообщества (75/442/ЕЕС, 91/156/ЕЕС и др.) и на основании анализа влияния отходов на окружающую среду в странах ЕС стимулируются переработка и повторное использование отходов (кроме сжигания и устройства полигонов). Наибольших успехов во внедрении раздельного сбора, переработки и использовании отходов в последние 30 лет добилась Германия, внедрившая «Дуальную систему Германии». Эта система позволила создать 17 тыс. дополнительных рабочих мест и 320 сортировочных пунктов ТБО. Собираются и перерабатываются 5 млн. тонн упаковки в год. Общее количество бытового мусора за счет переработки сократилось на 15 %.

Но даже при наличии такой системы не менее 30 % мусора идет неотсортированным.

От Германии не намного отстают Нидерланды, Бельгия, Австрия. Прогрессирующими темпами растет с начала 90-х годов переработка отходов в США.

Многие города России в последние годы также сделали ставку на переработку отходов, что было видно на международной выставке-конгрессе «ВэйсТэк – 2003» по управлению отходами в Москве.

В странах ЕС постоянно ужесточаются нормы охраны окружающей среды. Подготовлены законодательные предложения о начале закрытия полигонов с 2003 до 2010 гг.

Осуществляются ограничение, а в ряде стран и запрет использования компоста из отходов в связи с наличием в нем больше допустимого количества тяжелых металлов. Одновременно резко уменьшаются объемы сжигания бытовых отходов в специальных котлоагрегатах из-за неэффективности и больших затратах на газоочистку.

В Украине ежегодно образуется около 1 млрд.т отходов производства и потребления, из которых не более 10 % используются как вторичные материальные ресурсы (вторсырье), а остальные поступают на захоронение.

Неправильно приумножаемые «запасы» отходов в Украине составляют сейчас около 25 млрд.т, т.е. примерно 40 кг на каждый квадратный метр. И ситуация все обостряется – даже по самым скромным подсчетам прогнозируется увеличение мусорных «завалов» на 25-30 % ежегодно. Одновременно накапливается около 10 млн.т бытовых отходов за год. Экологические последствия многолетнего накопления отходов общеизвестны: отравление почвы, просачивание в водоносные слои агрессивных ядовитых стоков, заражение окружающей среды гниющей органикой и разлагающейся «синтетикой».

При этом если в крупных городах сбор и хранение отходов упорядочены, то в малых городах, райцентрах, селах положение катастрофическое. На сегодня в Украине существует более 2-х тысяч крупных, не считая мелких, несанкционированных свалок. Более 6,5 тыс.га плодородной земли выведены из оборота как загрязненные и непригодные к использованию.

Многие полигоны утилизации отходов из-за отсутствия средств на строительство новых перегружены. Их содержание, использование, рекультивация, за редким исключением, не соответствуют общепринятым нормам СанПиН 42-128-1890-88.

Положение с организацией сбора, вывоза и обезвреживания отходов переросло в серьезную проблему. Большие транспортные затраты на их вывоз, недостаточность и изношенность мусоросборочной техники, нехватка и неудовлетворительное состояние контейнеров, переполненность свалок, низкий уровень их эксплуатации, физическая и моральная изношенность оборудования и недостаточность газоочистки мусоросжигательных заводов, возникновение множества «стихийных» свалок, большие затраты на создание и содержание общего полигона ТБО, несовершенство существующей системы санитарной очистки, в том числе вывоза жидких нечистот – все это создало крайне неблагоприятную ситуацию в сфере обращения с отходами в густонаселенных регионах страны.

Важнейшим условием обеспечения экологически безопасного обращения с отходами являются их достоверный учет и классификация.

Инвентаризация и экологическое обследование объектов размещения отходов (ОРО) связаны с формированием реестра объектов размещения отходов регионов Украины. Основная задача здесь – получение достоверной информации об ОРО, в том числе их расположении, фактическом количестве отходов в местах их хранения/захоронения. Эту работу нужно рассматривать как апробацию

результатов НИР на территориальном уровне, выполненную по государственному заказу.

Для правового обеспечения инвентаризации и экологического обследования ОРО определен общий порядок проведения инвентаризации, указаны сроки представления информации для формирования территориальной базы реестра объектов размещения отходов производства и потребления.

В качестве учетных единиц на первом этапе инвентаризации предусматриваются:

- объекты длительного хранения отходов;
- объекты захоронения отходов;
- стихийно образованные места размещения отходов;
- объекты размещения отходов, рекультивированные или законсервированные после окончания эксплуатации.

Под объектом длительного хранения понимается объект размещения отходов, для которых в настоящее время отсутствуют условия использования, обеспечивающий в дальнейшем возможность изъятия отходов с целью переработки.

Под объектом захоронения понимается специализированный объект, на котором в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую природную среду производится изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию.

Под стихийно образованным местом размещения отходов понимается территория, не предназначенная, но используемая для размещения отходов.

При выявлении стихийно образованных мест размещения особое внимание нужно уделять территориям:

- водоохранных зон в районе населенных пунктов, зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения;
- примыкающим к дорогам, проходящим через особо охраняемые места, лесопарковые, рекреационные зоны.

При определении систем защиты окружающей среды на ОРО ответственные за проведение инвентаризации должны выявлять все имеющиеся средства, обеспечивающие снижение воздействия объекта на окружающую среду, включая наличие естественных экранов.

Инвентаризация считается завершенной после передачи в Управление по охране окружающей природной среды администрации области комплекта учетных форм объектов длительного хранения/захоронения отходов и акта инвентаризации, утвержденного руководителем администрации муниципального образования и содержащего сводные показатели результатов инвентаризации. В акте должны быть представлены сведения о:

- полноте заполнения учетных форм;
- количестве объектов размещения по видам отходов;
- количестве рекультивированных и законсервированных объектов размещения;
- количестве стихийно образованных мест размещения отходов;
- количестве объектов и мест размещения отходов, расположенных без учета генерального плана развития территории.

По итогам инвентаризации ОРО разрабатываются предложения по возможным направлениям переработки отходов с использованием имеющегося банка природоохранных технологий и оборудования. При разработке предложений учитываются экологические аспекты развития производительных сил области, определенные Концепцией развития промышленности.

Для практического внедрения этих разработок необходимо выполнить: исследования качественного состава накопленных и образующихся отходов, подлежащих переработке; маркетинг рынка потребности в продукции, производимой с использованием отходов; сравнительную оценку качества этой продукции с аналогичной продукцией, производимой из основного сырья; технико-экономическое обоснование организации производства с использованием отходов.

Сформированный информационный банк данных о размещении отходов производства и потребления на территории области позволит проводить целенаправленную политику в области снижения негативного влияния на окружающую среду размещения отходов производства и потребления, в том числе при:

- определении направления финансирования природоохранных мероприятий в целях предотвращения причинения вреда окружающей среде;
- разработке планов сохранения и восстановления окружающей среды;
- оценке последствий негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду;
- разработке нормативных актов в сфере охраны окружающей среды;
- разработке мероприятий по сохранению и развитию природного потенциала и рекреационного потенциала области.

Собранные в ходе выполнения работ сведения об объектах размещения отходов могут быть использованы для:

- осуществления государственного контроля размещения отходов производства и потребления;
- информационного обеспечения деятельности по управлению отходами на территории региона на всех уровнях реализации (муниципальном и территориальном);
- формирования базы данных государственного реестра объектов размещения отходов;
- оценки номенклатуры и объемов потенциальных вторичных ресурсов в целях вовлечения накопленных отходов в хозяйственный оборот (при наличии сведений о качественном составе отходов).

3.1.1. Система мониторинга источников использованной тары и упаковки как вторичного сырья

Система мониторинга источников использованной тары и упаковки, сырьевые ресурсы являются статистической базой банка данных об образовании, накоплении, объёмах, номенклатуре, свойствах полимерных отходов изношенной тары и упаковки с целью определения потенциальных поставщиков вторичного сырья. Система мониторинга банка данных об источниках накопления изношенной тары и упаковки является также базой для принятия управленческих решений в процессе организации сбора, накопления и переработки полимерных отходов в виде тары, упаковки и плёночных изделий на всех уровнях – как в пределах локального источника, так и в масштабах города и региона в целом.

Целью мониторинга являются обеспечение анализа базы данных образования использованной полимерной тары, упаковки и других бывших в употреблении изделий из термопластичных материалов, выявление номенклатуры полимерных отходов в необходимом количестве и с соответствующими остаточными свойствами, достаточными для утилизации их в опытно-экспериментальном производстве с учетом предусмотренных проектом технологии и оборудования, а также определение их движения и потенциальных поставщиков вторичного полимерного сырья.

Согласно рабочему проекту и разработанной технологии предусматривается переработка следующих полимерных отходов, соответствующих ТУ 63-032-1-89 «Сырьё полимерное вторичное необработанное»:

Группа 1.1 – Вышедшая из употребления пленка из полиэтилена, применявшаяся для укрытия парников, теплиц, силосных ям, хранилищ овощей;

Группа 1.2 – Мешки полиэтиленовые из-под минеральных удобрений;

Группа 1.3 – Упаковочная полиэтиленовая плёнка, мешки, пакеты, кульки, чехлы, складные контейнеры и т.д.;

Группа 1.4 – Изношенная транспортная тара из термопластичных материалов.

В особую группу выделено сырьё полимерное вторичное (одноразовая посуда из полипропилена, полистирола, упаковка из бумаги, ламинированной полиэтиленовой пленкой), накапливающееся и собирающееся в «Макдональдсах».

С учётом вида полимерных отходов в составе опытного производства предусмотрены технология и оборудование для их переработки в гранулированный товарный продукт. Технологический процесс обеспечивает измельчение пленочных и тонкостенных полимерных отходов, отмывку их от минеральной грязи, пыли, флотационное разделение измельчённых отходов полипропилена и полистирола, отжимку от избытка воды, сушку, агломерацию, грануляцию термопластичных материалов и бункеризацию товарного продукта.

С учётом технологических возможностей опытно-экспериментального производства ООО «Харьковвторполимер» ниже приводится анализ имеющейся базы данных об изношенной полимерной таре и упаковке и др. видах вторичного полимерного сырья.

Система мониторинга использованной тары и упаковки в г. Харькове и Харьковской области подтверждена темой «Внедрение технологии переработки тары и упаковки на ГКП «Харьковкоммуночиствод» с разработкой организационных и экономических оснований и с учетом имеющейся базы о их образовании», разработанной Северо-восточным научным центром НАН Украины в 2000 году. Определена исходная база данных объемов их образования, движения, уровня утилизации.

В 1998 г. на территории Харьковской области образовалось 33624 т использованной тары и упаковки – картонной, бумажной, металлической, текстильной, стеклянной, деревянной, комбинированной и полимерной, в 2001 г. соответственно росту 3-4% от накопления – 42882 т, в т.ч. по г. Харькову – 22324 т.

Объемы образования изношенной полимерной тары и упаковки определяли с учётом объемов выпуска и потребления продукции технического назначения, сыпучих продуктов питания (мука, крупы, сахар, соль и др.), медикаментов, мяскоколбасной, хлебобулочной, молочной и другой продукции, требующей тару и упаковку при транспортировке, оптовой и розничной реализации.

Суммарный объем образования изношенной тары и упаковки из полимерных материалов, согласно базе данных системы мониторинга их производства и потребления, достигает 6000 т в год на территории Харьковской области. При этом распределение полимерной тары по видам полимеров, назначению, агрегатно-физическому состоянию изделий, срокам службы, условиям эксплуатации, местам образования и накопления, возможности сбора, заготовки и переработки с учётом их объемов и остаточных технологических свойств представляется в следующем виде:

1. *Транспортная полимерная тара* в виде ящиков, поддонов, бидонов, бочек и др. Объем ее образования на территории области составляет 957 т/год. Срок эксплуатации полимерной транспортной тары – до 3 лет. Тара в основном возвратно-залоговая, производителями её являются АО «Рогань», завод шампанских вин и др., а также завозная с продукцией.

Изношенная транспортная тара практически в полном объеме возвращается к производителю и перерабатывается в дробленку, последняя добавляется к первичному сырью в количестве до 50% для производства полимерной тары.

Таким образом, изношенная транспортная тара из термопластичных материалов, соответствующая группе 1.4 ТУ 63-032-1-89 «Сырьё полимерное вторичное необработанное», практически полностью утилизируется в области.

2. *Изношенная тара и упаковка* из комбинированных материалов – ламинированной бумаги, металлизированной пленки, ламинированной пленки алюминием, из антисептических упаковочных материалов и др. Объем ее образования достигает 410 т/год. Из комбинированных материалов изготавливают пакеты для расфасовки молока, кефира, сметаны, упаковки сыра, медикаментов и т.д. Это – тара и упаковка одноразового пользования. Выпускается в основном параллельно с производством продуктов питания, медикаментов и др. изделий, подлежащих упаковке.

Через торговую сеть изношенная тара и упаковка из комбинированных материалов попадает к потребителю (население) и в конечном итоге аккумулируется в составе ТБО, рассеивается в парках, скверах, водоемах, полигонах, свалках. В основном это разовая тара и упаковка от «Макдональдс», предприятий и фирм общественного питания, торговли.

Изношенная тара и упаковка и технологические отходы их производства могут рассматриваться как вторичное полимерное сырье при условии организации сбора, заготовки их от населения в очищенном виде и разработки технологии и оборудования для их переработки в ликвидные изделия. Технология и оборудование опытного производства ООО «Харьковвторполимер» не предусматривают возможность переработки этого сырья, но оно может быть использовано при соответствующей технологии переработки как «мусорное» топливо в виде брикетов с удельной теплотой сгорания до 7000 ккал/кг.

3. *Изношенная текстильная тара и упаковка*, которой в области образуется около 4326 т/год, в том числе мешков из синтетической нити (полипропилена, полиамида) около 2500 т/год, которые используют для затаривания сахара, круп, зерна, соли, муки и других сыпучих пищевых продуктов, а также сумки, пакеты из синтетических нитей, сетки, вкладыши, контейнера и т.д. Это тара и упаковка одноразового использования.

Потенциальными поставщиками могут быть производители этой тары и упаковки, потребители пищевых и технических сыпучих продуктов и материалов. Это хлебобулочные, макаронные, бисквитные, кондитерские и другие комбинаты, фабрики, заводы, частный сектор, а также предприятия общественного питания – рестораны, кафе, столовые и т.д. Несмотря на официальное одноразовое использование мешков из полипропилена (ПП), полиамида (ПА), фактический срок их применения может быть длительным с учетом механических свойств, устойчивости к влажным, агрессивным средам, температурным перепадам и т.д.

По своим физико-химическим и механическим остаточным свойствам бывшие в употреблении мешки, сетки, сумки, вкладыши из синтетических нитей (полипропилен, полиамид, полиэтилен) могут рассматриваться как вторичное полимерное сырье.

4. *Изношенная тара и упаковка из термопластичных материалов* типа полиэтилена высокого и низкого давления, полипропилена, полистирола. Объем их образования достигает 3300 т/год. Это полиэтиленовые пленочные мешки, вкладыши мягких контейнеров (биг-бэг) (более 800 т/год), потребительская тара (около 2500 т/год) – кульки, пакеты, упаковочная, оберточная, термоусадочная пленка, бутылки, стаканы, тубы и др. В их числе импортная полимерная тара и упаковка достигает более 10%.

Производство пленочной упаковочной тары в настоящее время рассредоточено в небольших фирмах с различной формой собственности, основными потребителями-заказчиками являются торговые фирмы, базары, ярмарки, широкая сеть частных предпринимателей, реализаторов пищевых продуктов, предметов косметики, санитарии, парфюмерии, технических средств, одежды, обуви и т.д. Поэтому проследить промежуточные места накопления полимерной, пленочной тары и упаковки затруднительно. Тем более сложно определить их морфологический состав по видам полимеров, уровню

загрязненности, влажности. Эти параметры должны уточняться в процессе сбора, заготовки и переработки тары и упаковки.

Пленочная упаковка используется в розничной торговле при расфасовке, затаривании пищевых хлебобулочных, мяскоколбасных, молочных продуктов питания; развесных овощей, круп, макаронных изделий, т.е. потенциально это полноценное вторичное сырье.

Учитывая отсутствие организованной системы сбора, заготовки и переработки упаковочной тары, основной объем ее попадает в состав ТБО, где подвергается сильному загрязнению, заражению бактериями и т.д. Это значительно усложняет технологические процессы ее переработки, в частности требует дополнительной мойки и бактериального обеззараживания сушкой.

Номенклатура изношенной полимерной тары и упаковки – потребительская тара, которая относится к группе 1.3.; 1.4. ТУ63-032-1-89 «Сырье полимерное вторичное необработанное» с соответствующим уровнем допустимой загрязненности, влажности, остаточных технологических свойств и агрегатного состояния, т.е. отвечает требованиям утилизации вторичного полимерного сырья в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер».

5. *Полиэтиленовая пленка сельскохозяйственного применения* в парниковом, тепличном хозяйствах, является компактным источником вторичного полимерного сырья, относится к группе 1.1 ТУ «Сырье полимерное вторичное необработанное» с соответствующим уровнем загрязненности и влажности. Расходы полиэтиленовой пленки на укрытие парников, теплиц составляют до 1,0 т/га закрытого грунта (при толщине ПЭ – пленки в среднем 100 микрон). Срок эксплуатации ПЭ – пленки в тепличном и парниковом хозяйствах составляет 1 год. При этом механические безвозвратные потери достигают 20%. В процессе эксплуатации ПЭ – пленка подвергается интенсивной солнечной радиации, тепловой нагрузке, поэтому деструкция (окисление) ее достигает 40-50%.

Однако остаточные физико-химические и механические свойства изношенной ПЭ – пленки тепличного, парникового назначения являются достаточными для ее повторной переработки в выбранной номенклатуре изделия. Потенциальными поставщиками изношенной ПЭ – пленки для ее переработки в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер» во вторичный полиэтилен гранулированный могут быть производители овощей, цветов, табака, рассады, кормов и т.д. Так, ЗАО «Харьковская овощная фабрика» имело около 100 га закрытого грунта тепличного хозяйства. Следовательно, здесь потребляется до 100 т/год ПЭ-пленки для укрытия тепличных сооружений, и соответственно, образуется до 80 т/год изношенной ПЭ – пленки, пригодной для повторной переработки.

6. *Полиэтиленовые мешки* из-под минеральных удобрений представляют собой высококачественное вторичное полимерное сырье, относятся к группе 1.2 ТУ63-032-1-89 «Сырье полимерное вторичное необработанное». Срок службы ПЭ-мешков 1 год. Потери мешков в процессе транспортировки и хранения

составляют 15%. Заказчиками ПЭ – мешков являются производители минеральных удобрений на предприятиях «Сельхозхимии», потребители и т.д. У них собираются бывшие в употреблении мешки из-под минеральных удобрений и они могут быть поставщиками этого вторичного полимерного сырья для переработки в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер». В среднем требуется 20 мешков, или до 4,5 кг ПЭ – мешков на тонну удобрений.

7. *Разовая посуда*, столовые приборы с разделением их по видам для получения гранулированных вторичных термопластов. В банке данных изношенной тары, упаковки и др. полимерных отходов, а также в ТУ 63-032-1-89 «Сырьё полимерное вторичное необработанное» этот вид полимерных отходов отсутствует ввиду непредставительности по объёму, сильной загрязнённости остатками пищи, а следовательно, заражения гнилью, бактериями и т.д., что требует значительных затрат на обеззараживание, очистку, разделение и т.д., а это не предусмотрено технологией переработки в ООО «Харьковвторполимер».

Для производства изделий приведенной номенклатуры используются в основном полистирол, полипропилен, полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, полиэтилен. Срок службы этих изделий разовый. В процессе транспортировки, хранения и пользования они не подвергаются воздействиям, влияющим на их физико-химические, механические, реологические свойства, т.е. изношенные изделия разового пользования могут применяться для переработки. Уровень загрязнения изделий разового пользования остатками пищи, приправ, напитков следует уточнять в процессе организации, сбора, заготовки и поставки на переработку.

Потребителями и местами образования одноразовой полимерной посуды и упаковки являются учреждения общественного питания: рестораны, кафе, бистро, закусочные, киоски реализации освежительных напитков из кегов, «Макдональдс», «Аэрофлот» и т.д. объёмом до 600 т/год. Объём образования одноразовой посуды в Харьковской области составляет до 7352 т/год, по г. Харькову – до 3725 тн/год.

Основная тара – ПЭТ-бутылки концентрируются у населения, поэтому возможные объёмы заготовки зависят от организации их сбора. ПЭТ – бутылка занимает лидирующее положение среди упаковки не только газированных напитков, но и растительного масла, уксуса, жидкой бытовой химии (шампунь, смазочные, моющие средства и т.д.). Украина располагает большими запасами минеральных вод, а переход к рыночной экономике вызывает быстрый рост применения емкостей и тары из полиэтилентерефталата (ПЭТ), который в 2001г. достиг 2 млрд.шт. с ежегодным приростом на 200-300 млн.шт. В г. Харькове только две линии производства Nissei ASB (Япония) и Husky (Канада), установленные на ЗАО «Харпластмасс» и АО «Рогань», могут изготавливать бутылки из полиэтилентерефталата (ПЭТ) до 90 млн.шт. в год.

С учетом технических и технологических возможностей введенного в эксплуатацию опытно-экспериментального производства по переработке вторичного полимерного сырья в системе ГКП «Харьковкоммуночиствод» необходима отработка организации и механизма сбора, заготовки и поставки следующих видов полимерных отходов:

1. *Потребительская тара* – пленочные пакеты, кульки, обертка, упаковка пищевых продуктов, изделий технического назначения, обуви, одежды и др., соответствующая ТУ63-032-1-89, группа 1.3 «Сырье полимерное вторичное необработанное»;
2. *Изделия из полимеров одноразового пользования* – столовые приборы, бокалы, стаканы, ПЭТ – бутылки и др. Эта группа отходов не приводится в ТУ63-032-1-89, следовательно, уровень загрязненности, влажности, состава по видам полимерам не изучен;
3. *Изношенная ПЭ* – пленка сельхозприменения для укрытия теплиц, парников, рассады на полях, плодоовощной продукции, соответствующая группе 1.1 ТУ63-032-1-89 «Сырье полимерное вторичное необработанное»;
4. *Пленочные ПЭ* – мешки из-под минеральных удобрений, мягкие контейнеры (биг-бэг) для сыпучих материалов и др. химической продукции, соответствующие группе 1.2 ТУ63-032-1-89 «Сырье полимерное вторичное необработанное».

В табл. 3.1 приведены усредненные объемы накопления изношенной тары и упаковки по Харьков и Харьковскому региону.

Таблица 3.1 – Объемы накопления изношенной тары и упаковки по Харьковскому региону

№ п/п	Наименование, вид тары и упаковки	Накопление по Харьковской области, т/год.		Накопление по г. Харькову, т/год.	
		1998 г.	2001 г.	1998 г.	2001 г.
1	Транспортная тара из полимерных материалов	870	957	441	485
2	Тара и упаковка из комбинированных материалов	360	410	183	201
3	Тара из текстильных и полимерных материалов	4160	4576	2108	2318
4	Тара и упаковка из пленочных термопластичных материалов	3000	3300	1520	1672
5	Тара из полиэтилентерефталата (ПТЭФ)	2941	7352	1490	3725
6	Тара и упаковка комбинированная из композитных материалов (полимеры, картон, бумага, металл, стекло, дерево)	23834	24687	12079	13123
7	Упаковка, разовая посуда от «Макдональдс»	1400	1600	709	800
	Общее накопление	36565	42882	18530	22324

В составе опытно-экспериментального производства ООО «Харьковвторполимер» поставщиками вторичного полимерного сырья на переработку могут быть следующие субъекты, потребители и держатели мест аккумуляции:

1.Тара потребительская:

1.1. Система торговли – базары, базы, универмаги, универсамы, торговое частное предпринимательство, реализаторы изделий технического назначения, одежды, обуви, продуктов питания;

1.2. Население – организованная система селективного сбора, заготовки и приема через ЖЭУ, пункты сбора, мойки и т.д., через заготовительную систему ЗАО «Харьковвторресурсы»;

1.3. Полигоны, свалки – сортировка ТБО с извлечением полимерных изношенных изделий.

2. Разовая посуда – бокалы, стаканы полипропиленовые, полистирольные, ПЭТФ и др.:

2.1. Система общественного питания – «Макдональдс», кафе-бистро и др.;

2.2. Система реализации освежительных напитков, пива путем разлива из кегов (АО «Рогань»).

3. Изношенная ПЭ – пленка тепличных и парниковых хозяйств и мешки из-под минеральных удобрений.

3.1. Хозяйства агропромышленного комплекса и частные хозяйства, содержащие парники, теплицы.

3.2. Агропромышленный комплекс – «Сельхозхимия», фермеры, КСП, потребляющие минеральные удобрения.

Таким образом, в настоящее время необходим поэтапный, технически и научно обоснованный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке твердых бытовых отходов путем разработки пилотных проектов и создания опытно-экспериментальных производств по комплексной утилизации ТБО в Харькове и Харьковском регионе.

В табл. 3.2, 3.3 приведены данные о реальном выходе ресурсно-ценных сырьевых компонентов ТБО от нежилого и нежилого фондов Харькова в результате механизированной сортировки мощностью 40000 т/год.

Таблица 3.2 - Объем сырьевых компонентов ТБО от нежилого фонда Харькова

№ п/п	Компоненты, входящие в состав ТБО	Содержание в общей массе ТБО, %	Количество вторичного исходного «сырья» (компонентов), полученного в результате сортировки с учетом потерь		Стоимость от реализации, тыс.грн.
			Планируемое извлечение, %	Выход исходного сырья (отсортированного)	
1	2	3	4	5	6
1.	Макулатура (бумага, картон)	53,0	95	<u>20140 т/год</u> (50,35 %)	3423,8
2.	Полимерные отходы (в т.ч. ПЭТ – бутылка 0,8-1 %)	8,5	100	<u>3400 т/год</u> (8,5 %)	1428
3.	Металл черный	2,0	98	<u>784 т/год</u> (1,96 %)	156,8
4.	Металл цветной	0,5	100	<u>200 т/год</u> (0,5 %)	100,0

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6

5.	Стекло	6,0	90	<u>2160 т/год</u> (5,4 %)	108,0
6.	Древесина	1,0	85	<u>340 т/год</u> (0,85 %)	30,6
7.	Текстиль	3,0	90	<u>1080 т/год</u> (2,7 %)	97,2
8.	Кожа, резина	1,2	90	<u>432 т/год</u> (1,08 %)	56,2
9.	Всего полезных сырьевых компонентов, пригодных к отбору для переработки (рециклингу) во вторичное сырье	75,2	93,5	<u>28536 т/год</u> (71,34 %)	5400,6
10.	Пищевые и растительные отходы	4,2	100 % как недосортированные остатки - «хвосты»	Недосортированный остаток <u>9920 т/год</u> (24,8 %)	
11.	Прочие (в т.ч. фракции 30 мм)	20,6			
Недосортированный остаток от полезных сырьевых компонентов				<u>1544 т/год</u> (3,86 %)	

Следует отметить, что накопление полимерной тары и упаковки в составе ТБО в Харьковском регионе опережает возможности их переработки, так как технологии переработки для повторного использования их в виде гранулята вторичного сырья еще не нашли широкого распространения.

Долгое время переработка полимерных отходов во вторичное сырье затруднялась тем, что не приносила ощутимой прибыли. Не проводился анализ сравнительных данных, что рециклинг полимерных отходов по сравнению с захоронением на полигоне и сжиганием в печах является эффективным и экономичным способом решения данной проблемы. Поскольку строительство полигонов для захоронения отходов растет из-за ужесточения экологических норм, а термические печи и газоочистка при сжигании слишком дорогостоящие, значение поэтапного перехода к промышленной переработке ресурсно-ценных компонентов в составе ТБО будет непрерывно повышаться.

В большинстве городов Украины никем не контролируемые несанкционированные свалки из перемешанных пищевых отходов, стеклобоя, макулатуры, полимеров, одноразовой посуды, металлолома, других композитных отходов демонстрируют наше «одноразовое» отношение к проблемам отхоодообращения. Сегодня город с миллионным населением за год может закрыть метровым слоем отходов до 100 га ценных городских земель.

Эффективность управления отходами изношенной тары и упаковки находится на низком уровне. Вместе с тем оно должно стать одной из составляющих системы управления охраной окружающей среды. При этом необходимо решать вопросы как экологической безопасности отхоодообращения, мест размещения и накопления, так и вопросы энергосберегающих технологий сырьевых ресурсов, поскольку изношенную тару и упаковку нужно рассматривать в первую очередь с позиций оценки потенциала сырьевых ресурсов регионов Украины, а не только с точки зрения их негативного воздействия на окружающую среду.

Таблица 3.3 – Объем сырьевых компонентов ТБО от жилого фонда Харькова

№ п/п	Компоненты, входящие в состав ТБО	Содержание к общей массе ТБО, %	Количество вторичного исходного «сырья» (компонентов), полученного в результате сортировки с учетом потерь		Цена 1 т сырья, грн.	Стоимость от реализации, тыс. грн.
			Планируемое извлечение, %	Выход исходного сырья (отсортированного)		
1.	Макулатура (бумага, картон)	22,0	90	7920 т/год. (19,8 %)	350,0	2772,0
2.	Полимерные отходы (в т.ч. ПЭТ - бутылки – 0,8 - 1 %)	7,87	100	3148 т/год . (7,87 %)	850,0	2675,8
3.	Металл черный	1,87	95	712 т/год . (1,78 %)	400,0	284,8
4.	Металл цветной	0,5	100	200 т/год . (0,5 %)	1100,0	220,0
5.	Стекло	5,51	90	1984 т/год . (4,96 %)	200,0	396,8
6.	Древесина	1,14	70	319 т/год . (0,8 %)	200,0	63,8
7.	Текстиль	4,53	80	1448 т/год . (3,62 %)	200,0	289,6
8.	Кожа, резина	1,82	85	620 т/год . (1,55 %)	250,0	155,0
9.	Пищевые и растительные отходы	39,59	100 % как недосортиро- ванные остатки - «хвосты»	16536 т/год . (41,34 %)	-----	-----
10.	Камни, керамика, стройотходы	1,75		-----	-----	
11.	Кости	0,5		90	180 т/год . (0,45 %)	250,0
Всего отобранных полезных сырьевых компонентов, пригодных к отбору для переработки (рециклингу) во вторичное сырье				16531 т/год . (41,45 %)	-----	Σ 6902,8
Недосортированные остатки – «хвосты», пищевые, растительные отходы, камни, керамика и строительные отходы				23469 т/год . (58,55 %)	-----	-----
ИТОГО:		100 %	83,33 %	40000 т/год . (100 %)	-----	-----

3. 1. 2. Внедрение технологии переработки тары и упаковки с учетом базы данных об их образовании

Перечень выполняемых работ здесь следующий:

Этап 1. Анализ банка данных об источниках образования, накопления, объемах, номенклатуре, свойствах полимерных отходов тары и упаковки с целью определения потенциальных поставщиков для переработки его на опытном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод»:

- выявление объемов и мест образования изношенной пленочной тары и упаковки;
- выявление объемов и мест образования полимерной одноразовой посуды, столовых приборов, упаковки продуктов питания, освежительных напитков;
- выявление объемов и мест образования изношенных полиэтиленовых (ПЭ) мешков из-под минеральных удобрений;
- анализ вторичного ПЭ – сырья по остаточным технологическим и физико-химическим свойствам;
- определение с учетом анализа мест накопления потенциальных поставщиков полимерного сырья на ГКП «Харьковкоммуночиствод»:
 - торговые предприятия, фирмы, базары, рынки, оптовые базы, сфера общественного питания;
 - население (ЖЭКи);
 - базы «Сельхозхимии», парниковые и тепличные хозяйства;
 - действующие полигоны (свалки).

Этап 2. Создание механизма работы с поставщиками вторичного полимерного сырья для переработки в опытном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод»:

- разработка инструкций по сортировке пленочных изношенных изделий, их сбору и условиям поставки на переработку;
- разработка инструкций по сортировке посуды, столовых приборов разового использования, упаковке освежительных напитков и условиям их поставки на переработку;
- разработка инструкций и опознавательных знаков по заготовке мешков из-под минеральных удобрений, изношенной ПЭ – пленки тепличных, парниковых хозяйств и условиям их поставки на переработку;
- разработка инструкций по отбору, сортировке пленочного полимерного сырья на действующих полигонах и условиям их поставки на переработку;
- разработка инструкций по сбору, сортировке использованной ПЭТ – тары и условиям ее поставки на переработку;
- разработка проектов типового договора на сортировку, сбор и поставку вторичного полимерного сырья для его переработки на ГКП «Харьковкоммуночиствод» с учетом инструкций;
- разработка системы транспортных услуг по поставке вторичного полимерного сырья на ГКП «Харьковкоммуночиствод».

Этап 3. Оценка готовой продукции из отходов полимеров и рынков ее сбыта в регионе:

- вторичный гранулированный полиэтилен:

- ПЭВД – полиэтилен высокого давления;
- ПЭНД – полиэтилен низкого давления;
- смесь с неизвестным соотношением;
- смесь ПЭВД и ПЭНД, полипропилена и т.д.
- качественный анализ сырья как готовой продукции на соответствие нормативно-технической документации (ТУ и ОСТы);
- определение на основе анализа возможных областей применения, рынков сбыта в регионе для производства труб, пленок, литевых изделий и т.д;
- разработка проекта договора на производство изделий из полиэтилена вторичного гранулирования;
- проведение маркетинга на сырье вторичное полимерное;
- разработка структурной схемы переработки вторичных полимерных ресурсов на ГКП «Харьковкоммуночиствод» с апробированием в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер».

Этап 4. Разработка документа о внедрении системы переработки отходов тары и упаковки на ГКП «Харьковкоммуночиствод»:

- организация и доведение системы о переработке полимерных отходов до потенциальных поставщиков сырья:
 - доведение проекта постановления;
 - доведение проектов договоров;
 - доведение инструкций по сбору;
 - информация о Законе Украины «Об отходах»;
- разработка проекта постановления облгосадминистрации об утверждении и распространении организационно-экономических положений о переработке полимерных отходов в регионе.

Разработка и принятие документов организационной системы управления и утилизации использованной тары и упаковки и другого вторичного полимерного сырья, рекомендуемого к внедрению в г. Харькове

Целью данного этапа является:

- обобщение и уточнение данных об источниках и объемах образования изношенной полимерной тары и упаковки, а также других видов вторичного полимерного сырья, для сбора и переработки в ликвидные вторичные дробленые гранулированные термопласты и изделия на их основе в системе ГКП «Харьковкоммуночиствод»;
- согласование с потенциальными поставщиками, заготовителями и переработчиками изношенной тары и упаковки и другого вторичного полимерного сырья основных документов организационной системы их сбора, заготовки, поставки и переработки в ликвидные материалы;
- согласование основных документов организационной системы управления и утилизации использованной тары и упаковки с потенциальными поставщиками вторичного полимерного сырья непромышленной сферы: рынки города, сеть ресторанов, центральные торговые центры, дома торговли, супермаркеты, пивные компании и др. – всего более 12 объектов; производственные сферы – производители пищевых продуктов, напитков, плодоовощные базы и др. – всего более 12 объектов; поставщики жилищно-коммунального хозяйства, ПЖРЭП

9-ти районов города. При этом были рассмотрены и учтены замечания, обсуждены, одобрены и рекомендованы к внедрению следующие основные документы системы управления и утилизации отходов полимеров в экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер» ГКП «Харьковкоммуночиствод»:

- 1) инструкция по сбору, сортировке и поставке на переработку сырья полимерного вторичного необработанного;
- 2) примерный договор на сбор, сортировку и поставку вторичного полимерного сырья;
- 3) система мониторинга использованной полимерной тары и упаковки и отходов других видов полимеров в Харьковском регионе;
- 4) схема образования, движения, накопления и поставки изношенной полимерной тары и упаковки на утилизацию в опытно-экспериментальном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод»;
- 5) перечень рекомендованной номенклатуры изделий из вторичного полимерного сырья с учетом конъюнктуры рынка региона и Украины;
- 6) перечень уточненных данных о возможных объемах, потенциальных поставщиках полимерного сырья на переработку от объектов производственной, непроизводственной, жилищно-коммунальной сфер деятельности;
- 7) данные оценки степени загрязненности, влажности, технологических остаточных свойств полимерного сырья, подлежащего переработке на принятой технологии в опытно-экспериментальном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод».

С учетом нормативно-технической документации и исследований, мониторинга образования и движения вторичного полимерного сырья и др. предлагается к внедрению в опытно-экспериментальном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод» система управления и утилизации изношенной полимерной тары и упаковки и других видов вторичного полимерного сырья.

Система управления и утилизации изношенной полимерной тары и упаковки и другого вторичного полимерного сырья

Настоящая система управления и утилизации изношенной полимерной тары и упаковки, а также других видов полимерных отходов разработана на основе анализа мониторинга образования и движения полимерной тары и упаковки в Харьковском регионе с учетом наличия опытно-экспериментального производства ООО «Харьковвторполимер» переработки вторичного полимерного сырья в системе ГКП «Харьковкоммуночиствод» мощностью до 500 т в год. Уточнены данные об объемах образования отходов полимеров, возможных для сбора, заготовки и переработки, определены потенциальные поставщики полимерного сырья. Система направлена на практическое решение организационных, технических и технологических вопросов сбора, сортировки и поставки изношенной полимерной тары и упаковки и другого вторичного полимерного сырья на переработку в опытно-экспериментальном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод». Она может быть использована как руководство – рекомендация при решении аналогичных проблем в Харьковском и других регионах Украины.

Основой предлагаемой системы управления и утилизации изношенной поли -

мерной тары и упаковки и другого вторичного полимерного сырья являются:

1. Схема образования, движения, накопления и поставки изношенной полимерной тары и упаковки и других видов вторичного полимерного сырья на утилизацию в опытно-экспериментальном производстве ГКП «Харьковкоммун-очиствод». Она определяет порядок организации управления и создания производств по утилизации вторичного полимерного сырья и включает следующие необходимые при этом этапы:

- на основе анализа мониторинга устанавливается база данных объекта в целом, т.е. объемы производства, потребления, импорта, экспорта, срока службы, потерь в процессе эксплуатации, оцениваются организационная, конъюнктурная ситуация в регионе, остаточные потребительские, технологические свойства и технический уровень их утилизации с получением ликвидных материалов, экологически безопасных производств;
- на основе установленной базы данных объекта в целом изношенные полимерные изделия разбиваются на возможно однородные виды (группы) полимерных отходов;
- с учетом движения в процессе эксплуатации изделий из полимеров прогнозируются места их аккумуляции и, следовательно, источники образования изношенной полимерной тары и упаковки и других отходов полимеров;
- на основе выявленных источников образования вторичного полимерного сырья (от населения, торговой сети, объектов общественного питания (кафе, бистро и др.), реализации освежительных напитков, свалки и полигоны ТБО, агропромышленный комплекс, частный сектор и т.д.) определяется система сбора, заготовки и поставки на его переработку;
- определяется наличие в регионе производства и переработки вторичного полимерного сырья, оснащенного экологически безопасными технологиями, обеспечивающего переработку различных видов отходов полимеров отдельно или в смеси во вторичные дробленые, гранулированные материалы или изделия рекомендуемой номенклатуры или с учетом конъюнктуры рынка (табл. 3.4).

2. Инструкция сбора, сортировки, накопления и поставки на переработку вторичного полимерного сырья, разработанная с учетом ТУ 63-473-32-90 «Сырье вторичное полимерное необработанное». В ней:

- определяются общие требования к заготавливаемому сырью;
- приводятся отличительные признаки основных видов полимерного сырья;
- приводятся виды отходов полимеров, не подлежащих к заготовке;
- устанавливаются правила приема, упаковки, методы контроля, хранения, транспортирования сырья;
- правила проведения сбора вторичного полимерного сырья по группам и т.д.

3. Примерный договор (контракт, соглашение) на осуществление сбора, сортировки и поставки на переработку между Поставщиками (Держателями), Заготовителями, Переработчиками на основе экономических взаимовыгодных условиях и с учетом требований ТУ 63-473-32-90 «Сырье вторичное полимерное необработанное».

Таблица 3.4 – Схема образования, движения, накопления и поставки изношенной полимерной тары и упаковки на утилизацию в опытно-экспериментальном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод»



4. Номенклатура изделий из вторичного полимерного сырья и ориентировочные объемы потребности с учетом остаточных технологических свойств сырья и экономической целесообразности.

Система управления и утилизации вторичного полимерного сырья позволит значительно ускорить организацию и обеспечение сырьем опытно-экспериментального экономически выгодного, экологически безопасного производства ГКП «Харьковкоммуночиствод» и может быть рекомендована для широкого внедрения в Харьковском и других регионах Украины.

Оценка готовой продукции из отходов полимеров и рынков сбыта в регионе

Целью переработки вторичного полимерного сырья является получение ликвидных продуктов (полупродуктов) вторичных термопластов и производство изделий на их основе. В опытном производстве ГКП «Харьковкоммуночиствод» по технологии и установленному оборудованию предусматривается переработка пленочных отходов полиэтилена высокого давления (ПЭВД) во вторичный гранулированный ПЭВД (ТУ 63.178-74-88). В зависимости от видов вторичного полимерного сырья, его исходных свойств и методов переработки возможно получение различных марок вторичного полиэтилена гранулированного (см. табл. 3.5).

Показатели вторичного полиэтилена должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 3.6. Влажность вторичного полиэтилена не должна превышать 0,1 %.

В случае сбора и заготовки вторичного полимерного сырья в торговой сети, от населения, на свалках, полигонах ТБО возможна смесь ПЭВД, ПЭНД, ПП и др. полимеров в любом соотношении. Поэтому прогнозирование качества вторичного сырья как готовой продукции, определение областей его применения в производстве изделий литьевым, выдувным, экструзионным способами затруднительно.

Исследования возможного состава смеси вторичного полимерного сырья с учетом объемов производства и распределения термопластов показали такой средневзвешенный состав: полиэтилен – до 80 %, полипропилен – до 10 %, полистирол – до 5%, остальное – до 5 %.

В настоящее время возможны значительные изменения состава вторичного полимерного сырья с учетом импорта, изменения структуры и объемов производства и т.д.

Маркетинговые исследования сырьевой базы вторичного полимерного сырья, состояния его переработки и областей применения показали, что в Харькове и области переработкой вторичного полимерного сырья занимаются около 100 субъектов. В основном перерабатываются чистые однородные отходы полимеров. Производимая продукция самая различная – от пуговиц до труб полимерных, вторичной пленки для мешков под мусор, выдувной тары, вакуумформовочных изделий и др.

Таким образом, вторичное полимерное сырье на рынке Харьковского региона имеет достаточный спрос и предложение.

На ГКП «Харьковкоммуночиствод» установлены потребности во вторичном гранулированном ПЭВД для производства продукции коммунального хозяйства города (люки, крышки, дождеприемники), потребности в полимерных безнапорных трубах самого ГКП «Харьковкоммуночиствод», а также других видов продукции

из полимерных композитных материалов (ПКМ) для антикоррозионной защиты бетонных и железобетонных конструкций систем водоотведения города.

В перспективе возможна организация производства полимерных труб на опытном участке ГКП «Харьковкоммуночиствод» (см. табл. 3.7).

В процессе переработки одноразовой посуды из полистирола, полипропилена намечается производство гранулированных вторичных полистирола и полипропилена и реализация их как товарной продукции на рынке области.

Таблица 3.5 – Получение вторичного полиэтилена в зависимости от видов сырья, его свойств и методов переработки

Обозначение марок	Характеристика материала и исходного сырья	Группа по ТУ 63.471-32-90	Вид поставляемой продукции
А 1	Полиэтилен вторичный высокого давления, полученный, на основе отходов потребления в виде вышедших из употребления пленочных изделий сельхозприменения и других пленочных изделий	4.1 4.2 4.3	Гранулированный, агломерированный
А 2	Полиэтилен вторичный высокого давления, полученный на основе отходов потребления в виде вышедших из употребления литьевых, экструзионных и выдувных изделий, например, тары, труб и т.п.	4.4	Гранулированный, дробленый
А 3	Полиэтилен вторичный высокого давления, полученный на основе отходов производства литьевых, экструзионных и выдувных изделий, например, слитков при производстве пленок, отходов производства труб, отходов кабельного производства (ПЭВД) и т.д.	4.6	Гранулированный, дробленый
Б 1	Полиэтилен вторичный низкого давления, полученный на основе отходов потребления в виде вышедших из употребления литьевых, экструзионных и выдувных изделий, например, транспортной тары, труб и т.п.	4.4	Гранулированный, дробленый
А	Полиэтилен вторичный высокого давления, полученный на основе отходов производства пленок, бракованных пленочных изделий, обрезков пленки и т.п.	4.6	Гранулированный, агломерированный
Б 2	Полиэтилен вторичный низкого давления, полученный на основе отходов производства экструзионных, литьевых и выдувных изделий, например, отходов производства труб, отходов кабельного производства (ПЭНД) и т.п.	4.5	Гранулированный, дробленый

1.Классификация пленочного вторичного полимерного сырья

Пленочное вторичное полимерное сырье должно соответствовать ТУ 63-032-1-89 «Сырье полимерное вторичное необработанное» группы 1.1..... 1.3. Это:

- 1.1. Вышедшая из употребления полиэтиленовая пленка, применявшаяся в сельском хозяйстве (пленка, пленочные изделия в виде полотнищ и кусков для укрытия парников, теплиц, рассады на полях, силосных ям, хранилищ овощей, мульчирования почв, накладки и вкладыши мешков для хранения плодоовощной продукции);
- 1.2. Пленочные полиэтиленовые мешки из-под минеральных удобрений и рыбной промышленности;

Таблица 3.6 – Сравнительные признаки различных видов пленочного сырья

Наименование пленочного сырья	Физическое состояние	Испытание в пламени				
		Поведение в пламени	Горючесть	Вид пламени	Запах выделяющихся паров и дыма	Вид обгоревшего остатка
1. Полиэтиленовая пленка	Жирная на ощупь, хорошо растягивается (в два раза и больше), может быть прозрачной, матовой и черной	При внесении в пламя сразу загорается	При удалении из пламени продолжает гореть. Горит медленно, плавится, стекая каплями, пламя спокойное	Пламя с белой верхушкой и голубой каймой у основания	горящего парафина	Оплавленный, слегка потемневший
2. Поливинилхлоридная пленка	Относительно жесткая, растягивается, может быть прозрачной и матовой	При внесении в пламя загорается с трудом	При удалении из пламени быстро гаснет	Пламя оранжево-белое с зеленой каймой у основания, коптящее	резкий, острый, хлористого водорода, жженной резины	Жесткий, обугливающийся, в основном сохранивший форму образца
3. Лавсановая пленка	Прозрачная, малорастяжимая, при сминании издает шелестящий звук	При внесении в пламя тотчас загорается	При удалении из пламени продолжает гореть, плавится	Пламя коптящее, быстро исчезает	без специфического запаха	Оплавленный, потемневший
4. Полистирольная пленка	Прозрачная, не растяжимая, при сминании издает металлический звук	Легко загорается в пламени	Горит самостоятельно	Желто-оранжевое с едва заметной синей каймой у основания сильно коптящее	запах стирола специфический, сладковато-цветочный	Оплавленный, потемневший
5. Целлофановая пленка	На ощупь – сухая бумага, прозрачная, малорастяжимая, рвется с сухим треском	При внесении в пламя сразу загорается	Горит ярким пламенем	Пламя бело-желтое	запах обгоревшей бумаги	Остаток-пепел

- 1.3. Вышедшие из употребления пленочные изделия для упаковки и транспортировки продукции (упаковочная пленка, мешки, кульки, пакеты, чехлы, складные контейнеры и др.).

2. Источники образования пленочного вторичного полимерного сырья

- 2.1. Тепличные, парниковые, цветочные хозяйства, использующие для укрытия грунта полиэтиленовую пленку, кормопроизводство агропромышленного комплекса, частный сельскохозяйственный сектор, практикующий выращивание овощей и рассады под пленкой.
- 2.2. Агрохимические службы («Сельхозхимия»), производящие расфасовку минеральных удобрений, сельхозпроизводство, фермеры, частный сектор, потребляющие удобрения, химпрепараты в полиэтиленовых мешках.
- 2.3. Торговая сеть – базары, ярмарки, торговые центры, супермаркеты, магазины, универсамы, киоски, лотки и т.д. дают полимерные пленочные отходы в виде изношенной полимерной упаковки изделий технического и продовольственного назначения – кульки, мешки, полотнища, обертка для упаковки мясо – колбасной, хлебобулочной продукции, сыров, медикаментов, сахара, круп и др., а также одежды, обуви, бытовой техники и др.
- 2.4. Население – кульки, пакеты и др. упаковка из полимерных пленочных материалов.
- 2.5. Свалки, полигоны – при приеме ТБО (рекультивации) извлекаются полимерные пленочные изношенные материалы.

3. Порядок сбора сырья:

- 3.1. Сбор и заготовка пленочного вторичного полимерного сырья осуществляются в соответствии с договором между потребителем и поставщиком (заготовителем) по п. 2.1....2.5 настоящей системы.
- 3.2. Объемы сбора, сортировки, условия расчетов, сроки поставки сырья определяются договором.

4. Сбор, сортировка и поставка пленочного вторичного полимерного сырья:

- 4.1. Сбор и сортировка пленочного вторичного полиэтиленового сырья производятся силами потребителя и/или переработчика или третьего лица (организации, фирмы, предпринимателя, частного лица) согласно условиям и обязательствам договора.
- 4.2. Сбору подлежат:
 - вышедшая из употребления полиэтиленовая пленка в виде кусков и полотнищ всех размеров, применявшаяся в сельском хозяйстве для укрытия парников, теплиц, рассады, хранилищ овощей, кормов и др.
 - пленочные полиэтиленовые мешки из-под минеральных удобрений.
- 4.3. Сбор полиэтиленовой пленки и мешков должен проводиться сразу после окончания эксплуатационного сезона. Запрещается оставлять использованную пленку в хозяйствах (на теплицах, парниках) во избежание загрязнений и ухудшения ее физико-механических свойств.
- 4.4. Заготавливаемая полиэтиленовая пленка – жирная на ощупь, как воск, хорошо растягивается, может быть прозрачной и матовопрозрачной (полупрозрачной). В табл. 3.6 приведены сравнительные признаки различных видов пленочного сырья.

- 4.5. Сбор полиэтиленовой пленки осуществляется следующим образом:
- 4.5.1. Куски и полотнища пленки, снятые с теплиц и парников, хранилищ, отряхиваются от остатков земли и грязи, следя за тем, чтобы не было примесей в виде металлических и деревянных предметов, гвоздей, веревки, резины, бумаги, тряпья и др.
- 4.5.2. Куски и полотнища пленки складывают кипами или сворачивают рулонами и отправляют с поля в специально выделенное сельхозпредприятием или хозяйством помещение или на специально организованные крытые площадки, где осуществляют их временное хранение пленки, не допуская порчи.
- 4.6. Мешки из-под удобрений при сборе разрезают по периметру для удаления остатков содержимого и стряхивают, следя за тем, чтобы в них не попали посторонние предметы (бумага, резина, металл и др.), складывают кипами и отправляют в то же помещение, что и пленку.
- 4.6.1. Не допускается сбор мешков из-под ядохимикатов, применяющихся в сельском хозяйстве для уничтожения вредных насекомых, грызунов, возбудителей грибковых заболеваний и для уничтожения сорной растительности. Такие мешки подлежат уничтожению в установленном порядке.
- 4.7. На площадках осуществляют дополнительное обезмусоривание сырья, заключающееся в удалении примесей в виде макулатуры, тряпья, металлических и деревянных предметов, кусков пленки и мешков, загрязненных цементом, гипсом, клеем, битумом, лаками и другими вязкими, не растворимыми в воде веществами.
- 4.8. Приемка сырья:
- 4.8.1. Приемка вторичного полиэтиленового пленочного сырья заготовительными организациями и поставка его потребителям проводятся партиями в соответствии с договорами, техническими требованиями отраслевого стандарта и настоящей системой в рассортированном и замаркированном виде. Партией считается количество полиэтиленового пленочного сырья одной группы, предъявленное к сдаче – приемке в соответствии с договорами, ТУ и оформленное документом.
- 4.8.2. При сдаче – приемке партии проверяют:
- правильность упаковки и маркировки;
 - наличие сопроводительной документации;
 - влажность;
 - массовую долю загрязнений;
 - соответствие качества требованиям ТУ 63-032-1-89.
- 4.8.3. Отбор проб и контрольную проверку качества вторичного полиэтиленового пленочного сырья выполняют в соответствии с требованиями ТУ 63-032-1-89 на заводе – переработчике с целью усреднения сырья по физико-механическим свойствам и выбора технологии при отмывке его от грязи.
- 4.9. Упаковка и маркировка:
- 4.9.1. Полиэтиленовое пленочное сырье, принимаемое заготовительными организациями или предприятиями-потребителями, должно быть упаковано и маркировано в соответствии с требованиями ТУ 63-032-1-89.

4.10. Транспортирование:

4.10.1. Транспортирование вторичного полиэтиленового пленочного сырья проводится всеми видами транспорта, обеспечивающими сохранность его качества в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на данных видах транспорта. Не допускается транспортирование сырья совместно с горюче-смазочными материалами и ядохимикатами.

4.10.2. При транспортировании заготовленного вторичного полимерного сырья последнее должно сопровождаться соответствующим документом – накладной, в которой указываются наименование поставщика сырья, количество мест, масса, станция (пункт) назначения и отправления.

4.10.3. Доставка вторичного полиэтиленового пленочного сырья осуществляется согласно особым условиям договора.

4.10.4. Допускаются комплектование и отгрузка вторичного полиэтиленового пленочного сырья поставщиками транзитом предприятиям по первичной обработке и переработке сырья на договорных началах.

4.11. Хранение:

4.11.1. Хранение вторичного полиэтиленового пленочного сырья должно осуществляться на оборудованных площадках в условиях, защищающих его от почвенной влаги и атмосферных осадков, а также от попадания прямых солнечных лучей.

4.11.2. Не допускается загрязнение при хранении вторичного полиэтиленового пленочного сырья мусором, тряпками, бумагой, землей, горюче-смазочными веществами, химикатами и др. посторонними предметами.

4.11.3. При хранении вторичного полиэтиленового пленочного сырья оно должно находиться на расстоянии не менее 15 м от обогревательных приборов.

Изменения, отступления от положений настоящей системы возможны с отговоркой в особых условиях договорных обязательств сторон.

4.11.4. Сбор, сортировка и поставка пленочного полимерного сырья в торговой сети, населения, при рекультивации свалок, полигонов ТБО осуществляется поставщиками (администрация торговых объектов, свалок, полигонов ТБО, ЖЭКов, ЖЭО) или третьей стороной (организацией, фирмой, предпринимателем, физическим лицом) согласно условиям и договорным обязательствам.

4.11.5. Сбору подлежат:

- вышедшая из употребления пленочная полимерная тара и упаковка в виде кулечков, пакетов, сумок, мешков, полотнищ, изготовленных из ПЭВД, ПЭНД, ПП, ПС, ПВХ, ПЭТФ и применявшихся при упаковке пищевых продуктов, изделий технического назначения, бытовой химии;
- сроки сбора определяются условиями договора, но целесообразно ежедневно с целью исключения дополнительного загрязнения, смешения с другими инородными предметами (бумага, дерево, металлические предметы, грязь, песок и т.д.);
- сроки поставки определяются условиями договора и учета транспортных схем, затрат и запасов вторичного полимерного сырья и переработчика;

- заготавливается пленочное полимерное вторичное сырье из ПЭВД, ПЭНД, ПП без сортировки в смеси по их основным сравнительным признакам (табл. 3.6).
- 4.11.6. В торговой сети образующуюся в течение дня пленочную тару и упаковку из ПЭВД, ПЭНД, ПП на территориях базаров, рынков, торговых центров, универсамов, магазинов, лотков, киосков в виде кульков, пакетов, мешков, полотнищ, обертки и т.д. отряхивают от остатков продуктов, земли, песка, грязи, следя за тем, чтобы не попали примеси в виде металлических и деревянных предметов, веревки, резины, бумаги, тряпья и т.д.
- 4.11.7. Собранные в соответствии с п. 4.11.6 пленочные полимерные отходы укладывают в мешки (бумажные, ПП, ПЭ) или другую тару весом не более $20 \pm 0,5$ кг и складывают в специально отведенном месте, защищенном от прямых солнечных лучей, попадания горюче-смазочных материалов и др.
- 4.11.8. От населения на договорных началах через организационно-заготовительную сеть: ЖЭО, ЖЭКи, лотки, киоски, систему ЗАО «Харьковвторресурсы», частных предпринимателей, физических лиц и др. принимается пленочное вторичное полимерное сырье в виде кульков, пакетов, мешков, полотнищ, обертки и др. из ПЭВД, ПЭНД, ПП по отличительным признакам (табл. 3.6) в рассортированном, сухом виде.
- 4.11.9. Из твердых бытовых отходов на мусороперерабатывающих центрах (МПП) методом механизированной сортировки извлекают полимерное сырье и отсортировывают пленочные отходы в виде кульков, пакетов, мешков, полотнищ, обертки, отряхивают (отмывают) их от грязи, песка, методом глубокого отбора отсортировывают пленочные изделия из ПЭВД, ПЭНД, ПП, затаривают их в бумажные мешки, или другую тару по $20 \pm 0,5$ кг, следя за тем, чтобы не попали примеси в виде металлических, деревянных предметов, резины, бумаги, веревок, тряпья и пр. ПЭТ-бутылки отбирают и пакует отдельно от пленочных полимерных отходов.

5. Приемка вторичного полимерного сырья:

- 5.1. Приемка пленочного вторичного полимерного сырья, собранного в системе торговли, от населения, извлеченная из твердых бытовых отходов свалок, полигонов заготовительными организациями или потребителями осуществляется по фактически собранному количеству (партии) в соответствии с договорами, техническими требованиями, ТУ и ОСТами, в затаренном и замаркированном виде.
- 5.2. При сдаче приемке предъявленного количества (партии) вторичного пленочного сырья проверяется:
 - правильность упаковки и маркировки;
 - наличие сопроводительной документации;
 - влажность;
 - массовая доля загрязнений;
 - соответствие требованиям ТУ 63-032-1-89;
 - отбор проб, проверка качества и соотношения видов пленочных отходов (ПЭ, ПП) производится потребителем в соответствии с требованиями

ТУ 63-032-1-89 с целью усреднения сырья по физико-механическим свойствам и выбора технологии отмывки от грязи и переработки в гранулы, изделия.

Таблица 3.7 – Расчет потребности в трубах безнапорных из отходов вторичного полиэтилена для хозфекальной, ливневой канализаций Харькова и жилищно-коммунального хозяйства Харьковской области (тип труб С-средн.серии ГОСТ 18588-83)

№ п/п	Наименование и технические параметры труб (диаметр х наружная толщина стенки)	Масса 1 пог. м трубы, кг	Плановая потребность в трубах на год, пог.м	Общий вес (масса) трубы, кг	Заказчик (потребитель) труб
1.	Труба безнапорная Ø 63 х 4,7	0,8	600	480	ЖКХ Харьковской области
2.	Труба безнапорная Ø 110 х 8,1	2,64	10665	28155,6	- // -
3.	Труба безнапорная Ø 160 х 11,9	5,68	<u>13489</u> 150	<u>76617,52</u> 852	- // -
4.	Труба безнапорная Ø 200 х 14,5	8,61	<u>7168</u> 500	<u>61716,48</u> 4305	- // -
5.	Труба безнапорная Ø 250 х 18,5	13,7	859	11768,3	- // -
6.	Труба безнапорная Ø 315 х 23,0	21,49	8685	186640,65	- // -
7.	Труба безнапорная Ø 400 х 22,7	27,0	<u>5569</u> 17400	<u>150363</u> 469800	- // -
8.	Труба безнапорная Ø 500 х 28,3	42,1	<u>3100</u> 550	<u>130510</u> 23155	- // -
9.	Труба безнапорная Ø 630 х 35,7	66,8	<u>2340</u> 17250	<u>156312</u> 1152300	- // -
10.	Труба безнапорная Ø 800 х 40	108,0	370	39960	- // -
11.	Труба безнапорная Ø 1000 х 40	108,0	60	6480	- // -
12.	Труба безнапорная Ø 1200 х 40	108,0	175	18900	- // -
ИТОГО:			88300	2517833	

Таким образом, с учетом технологии и оборудования, установленного в опытно-экспериментальном производстве системы ГКП «Харьков-коммуночиствод», анализа банка данных об источниках образования, движения и накопления изношенной полимерной тары и упаковки, других полимерных технических пленочных изделий определена номенклатура вторичного полимерного сырья и потенциальные поставщики его для утилизации.

3.2. Отходы полимерных материалов как дополнительный резерв развития природно-ресурсного потенциала региона

Решение проблемы комплексного использования вторичных полимерных материалов связано с решением целого ряда научных и практических задач, среди которых важное место занимают определение объемов образующихся полимерных отходов и организация их заготовки в местах образования. С ростом объема потребления готовой продукции существенно увеличиваются отходы потребления. С учетом этого ставится задача определения объемов образования отходов потребления для создания производств по их переработке.

Методы расчета образования отходов совершенствуются путем их обобщения и использования для новых видов отходов и установления влияния отдельных факторов на нормативы их образования (безвозвратные потери сырья при его переработке и амортизации готовых изделий из него, возврат части отходов в технологический процесс и т.п.). Однако применение известных методов расчета, разработанных по конкретным отходам для расчета других отходов, приводит к тому, что полученные результаты существенно различаются. Связано это с тем, что авторы методик при их разработке основываются не на анализе существующих структур источников отходов и их классификации, а исходят из различной трактовки понятий «отходы», «вторичное сырье», «вторичные ресурсы», не учитывая при этом факторы, определяющие удельные нормативы образования отходов, например, выпуск сопутствующей продукции из отходов в местах образования, экономическая целесообразность заготовки отходов потребления на площадях с малой плотностью населения и т.п.

Система заготовки отходов производства и потребления их в Украине начала активно развиваться с 1990г. В последующем она совершенствовалась по пути максимального охвата источников отходов, использования прогрессивных технических средств накопления, переработки и транспортировки отходов, а также поиска новых форм и методов их заготовки.

3.2.1. Источники образования полимерных отходов

Источниками отходов являются промышленные предприятия, сельское хозяйство, строительство и т.д. (производственная сфера). Каждое такое предприятие концентрирует в локальных точках средства труда и сырье (или средства труда к сырьевым ресурсам). Поэтому такие предприятия являются локальными, компактными источниками отходов. Компактными источниками являются также учреждения и предприятия непроизводственной сферы, где для оказания услуг нематериального характера используются материальные ценности. В процессе хранения на базах и складах материальных ценностей, их транспортировки и реализации через предприятия торговли (сферу обращения) они, еще не будучи использованы по своему назначению, образуют отходы, что обусловлено свойствами, условиями транспортировки и хранения материальных ценностей. Предприятия сферы обращения также являются компактными источниками отходов.

Население как один из основных потребителей материальных ценностей также является источником отходов, которые образуются в результате использования конкретных видов готовой продукции. Отходы, образующиеся у населения, размещаются в зависимости от плотности населения в каждом регионе. Это приводит к тому, что размещение отходов у населения имеет распределенный характер.

Компактные источники отходов подразделяются на:

- источники отходов, где осуществляется процесс создания материальных ценностей;
- источники, где производятся хранение и распределение материальных ценностей;
- источники, где материальные ценности используются для оказания услуг нематериального характера.

Каждому из перечисленных источников соответствует своя структура образования отходов. Источнику отходов, где осуществляется процесс создания материальных ценностей, соответствует структура, представленная на рис. 3.10а. Источник имеет два входа. На первый вход поступают сырье, полуфабрикаты и материалы, которые в процессе производства основной готовой продукции подвергаются в источнике физико-химическим, механическим и другим воздействиям. В процессе переработки сырья первого входа образуются отходы производства – остатки сырья, полуфабрикатов и материалов. Часть их безвозвратно теряется (угары, испарение и т.д.), часть возвращается в процесс производства основной продукции, часть используется для производства сопутствующей продукции, часть подвергается захоронению или уничтожению из-за отсутствия технологии их утилизации или если вовлечение отходов в производственно-хозяйственный оборот экономически нецелесообразно. Оставшаяся часть отходов производства переходит в отходы, пригодные для сбора и использования. На второй вход поступает материальный поток в виде аппаратов, оборудования, технических средств и других видов изделий, с помощью которых осуществляется процесс производства готовой продукции. Часть материального потока второго входа возвращается в систему распределения материальных ценностей для повторного использования, часть через определенное время переходит в отходы потребления, часть безвозвратно теряется (истирание, изменение структуры и т.д.), часть подвергается захоронению или уничтожению (по причинам, аналогичным для отходов производства), а оставшаяся часть переходит в отходы, пригодные для сбора и использования.

Источнику отходов, где осуществляются хранение и распределение материальных ценностей, соответствует структура, приведенная на рис. 3.11. Источник имеет два входа. На первый вход поступает готовая продукция, которая предназначена для передачи потребителям. В процессе ее передачи образуются отходы продукции (в зависимости от ее свойств, условий хранения и реализации). Часть отходов здесь безвозвратно теряется, часть подвергается захоронению или уничтожению, а оставшаяся часть переходит в отходы, пригодные для сбора и использования. На второй вход источника поступает материальный поток в виде оборудования, технических средств и других видов изделий, необходимых для

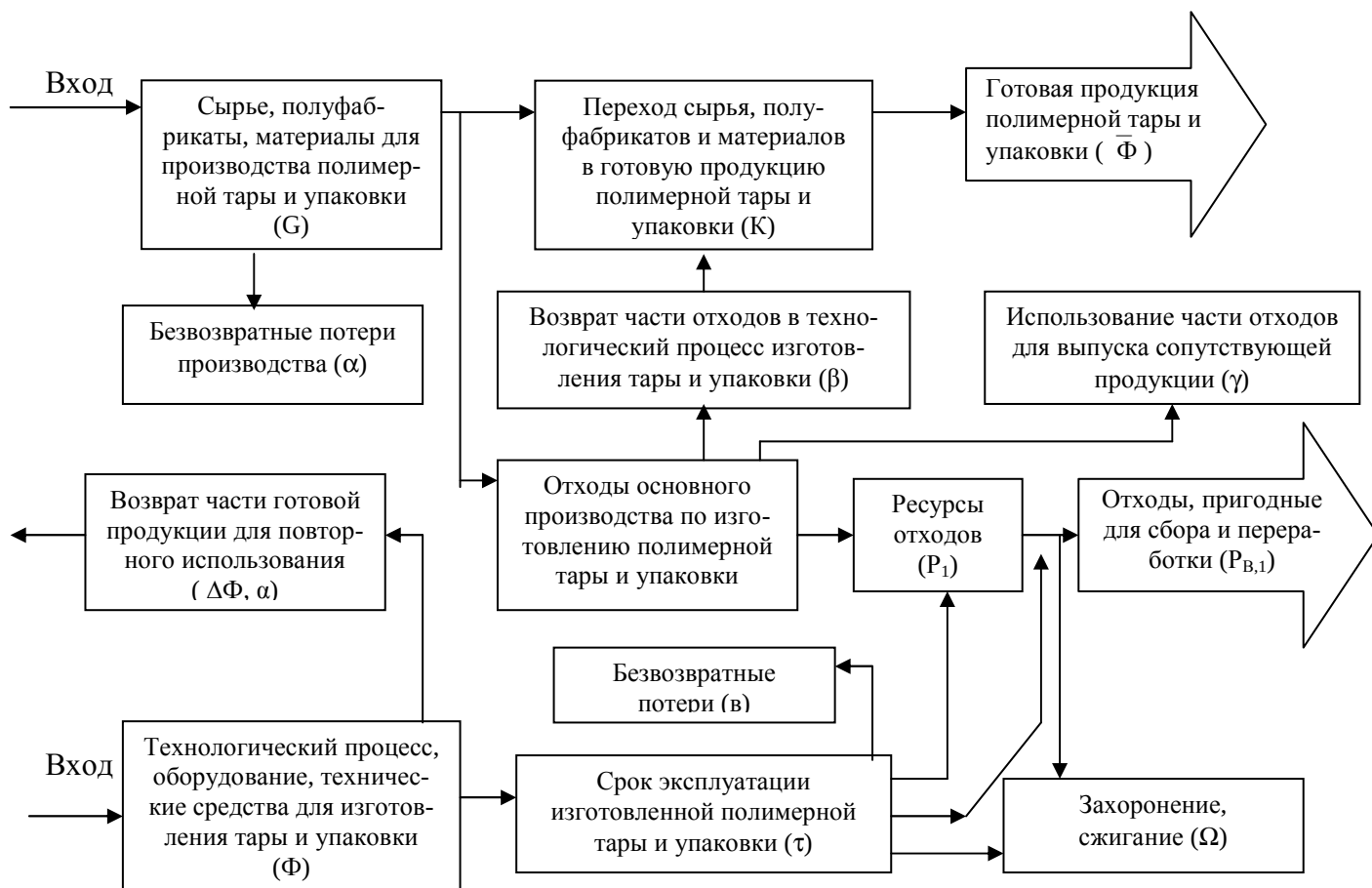


Рис. 3.10а – Образование полимерных отходов в источниках первого типа производства тары и упаковки

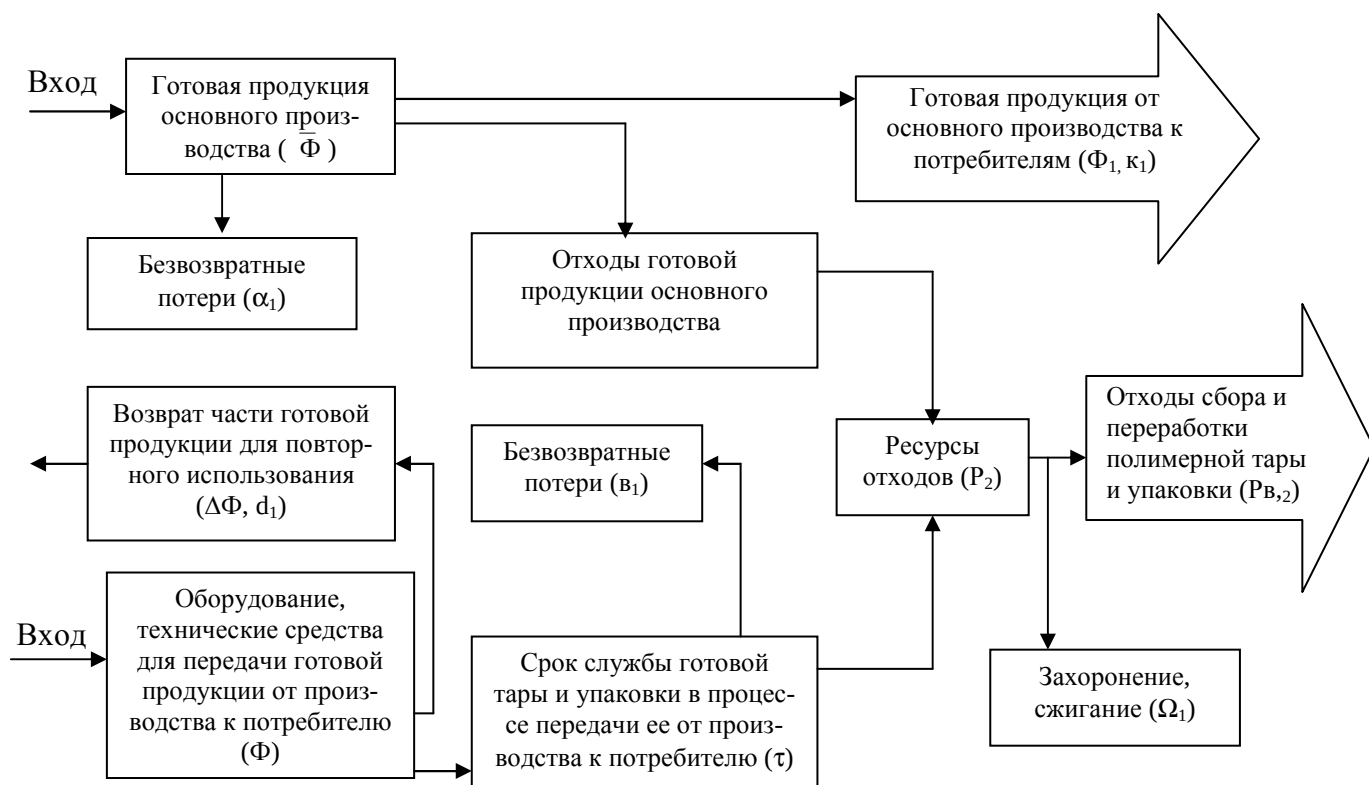


Рис. 3. 11 – Образование полимерных отходов в источнике второго типа хранения и распределения готовой продукции

осуществления процесса передачи материального потока первого входа потребителям. Часть материального потока второго входа возвращается для повторного использования, часть безвозвратно теряется, часть подвергается захоронению или уничтожению, а оставшаяся часть переходит в отходы, пригодные для сбора и использования.

Источнику отходов, где материальные ценности используются для оказания услуг нематериального характера, соответствует структура, представленная на рис. 3.12. Источник имеет один вход, на который поступает материальный поток в виде технических средств и готовой продукции для выполнения услуг (всем производственным сферам и населению) нематериального характера. Часть материального потока возвращается для повторного использования, а оставшаяся часть после использования переходит в отходы потребления. Часть отходов потребления безвозвратно теряется, часть подвергается захоронению или уничтожению, а оставшаяся часть переходит в отходы, пригодные для сбора и использования.

Население как источник образования отходов соответствует структуре, приведенной на рис. 3.12. При использовании населением готовой продукции последняя при превращении в отходы потребления подчиняется тем же закономерностям, что и для источника отходов, где материальные ценности используются для оказания услуг нематериального характера.

Приведенные структуры источников отходов позволяют построить блок-схемы моделей источников и получить аналитические зависимости, определяющие объемы образования отходов в каждом источнике (см. рис.3.13, 3.14, 3.15).

Общие обозначения к блок-схемам моделей образования отходов следующие:

G_t – сырье, полуфабрикаты, материалы для производства готовой продукции $\bar{\Phi}_t$;

$\Phi_{t-\tau}$ - аппараты, оборудование, технические средства и т.д. для осуществления процесса производства готовой продукции (блок-схема на рис.3.13) процесса передачи материального потока от производства потребителям (блок-схема на рис. 3.14) и готовая продукция для потребления населением;

$\Delta \Phi_t$ – возврат части готовой продукции для повторного использования;

τ – время использования готовой продукции, после которого она переходит в отходы потребления;

t – год, на который рассчитываются образующиеся отходы.

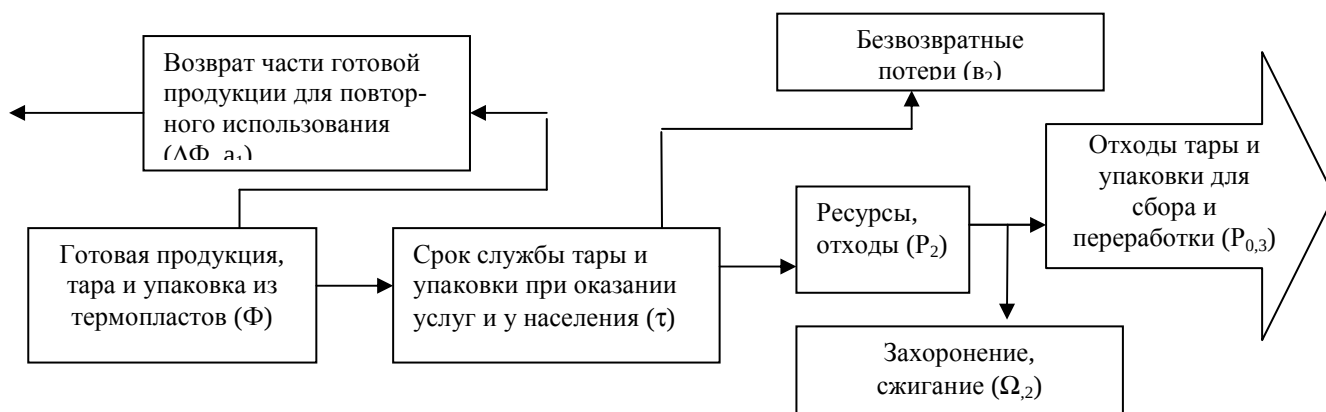


Рис. 3.12 – Образование полимерной тары и упаковки в источниках третьего типа нематериального характера и у населения

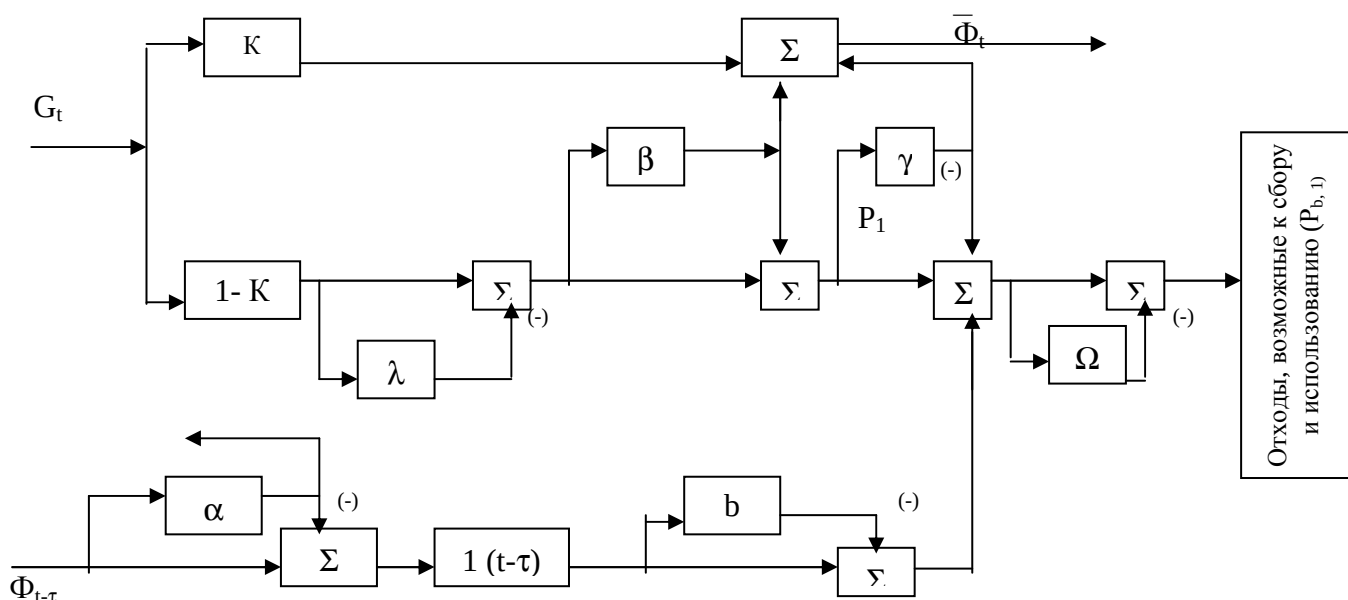


Рис. 3.13 – Блок-схема модели источника отходов второго типа

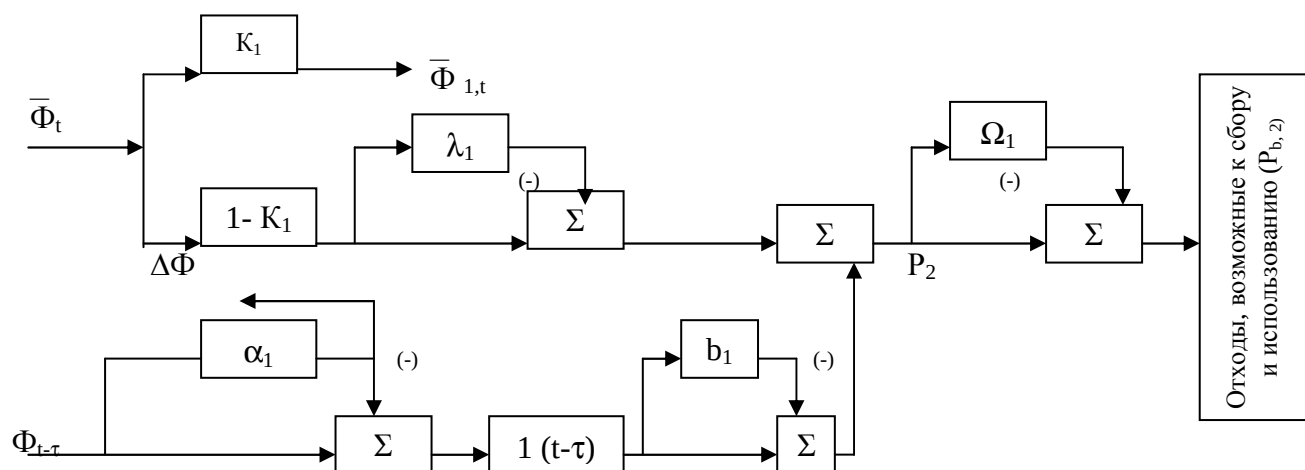


Рис. 3.14 – Блок-схема модели источника отходов второго типа

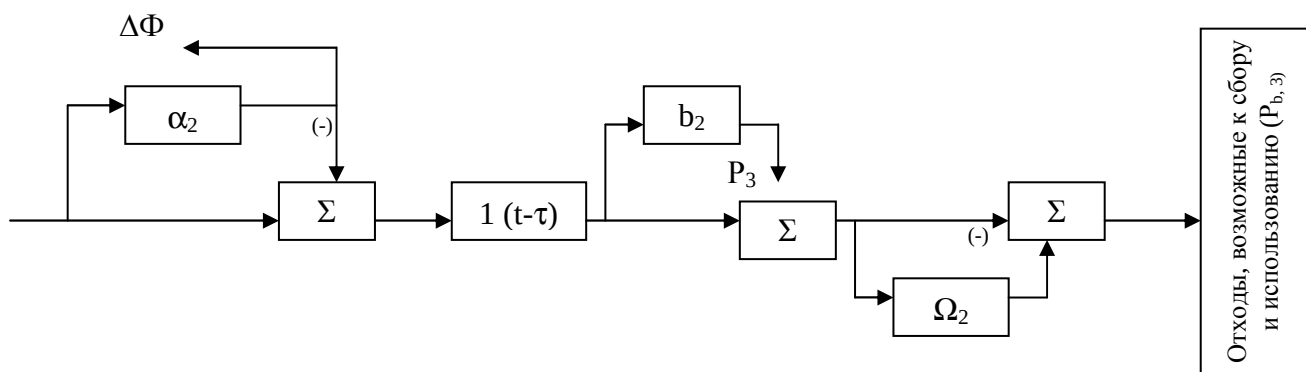


Рис. 3.15 – Блок-схема модели источника отходов третьего типа

Для блок-схемы модели рис.3.13:

K – коэффициент перехода сырья, полуфабрикатов и материалов в готовую продукцию $\bar{\Phi}_t$;

$(1-K)$ – коэффициент перехода сырья, полуфабрикатов и материалов в отходы производства;

α – коэффициент, определяющий безвозвратные потери сырья, полуфабрикатов и материалов в процессе производства из них готовой продукции;

β – коэффициент, определяющий возврат части отходов производства в технологический процесс;

γ – коэффициент, определяющий использование части отходов производства для выпуска сопутствующей готовой продукции;

a – коэффициент, определяющий возврат части готовой продукции для повторного использования;

b – коэффициент, определяющий безвозвратные потери готовой продукции в процессе ее амортизации;

Ω – коэффициент, определяющий захоронение и уничтожение части отходов производства и потребления.

Для блок-схемы модели рис.3.14:

K_1 – коэффициент передачи готовой продукции от производства потребителям;

$(1-K_1)$ – коэффициент перехода части готовой продукции в отходы;

α_1 – коэффициент, определяющий безвозвратные потери готовой продукции;

a_1 – коэффициент, определяющий возврат части готовой продукции для повторного использования;

b_1 – коэффициент, определяющий безвозвратные потери готовой продукции в процессе ее амортизации;

Ω_1 – коэффициент, определяющий захоронение и уничтожение части готовой продукции и отходов потребления.

Для блок-схемы модели рис.3.15:

a_2 – коэффициент, определяющий возврат части готовой продукции для повторного использования;

b_2 – коэффициент, определяющий безвозвратные потери готовой продукции в процессе ее использования;

Ω_2 – коэффициент, определяющий захоронение и уничтожение части отходов потребления.

В соответствии с блок-схемой рис. 3.13 ресурсы отходов, в том числе для вторичных полимерных материалов, образующиеся в источнике первого типа, определяются уравнением

$$P_1 = G_t (1 - k) (1 - \alpha) (1 - \beta) (1 - \gamma) + \Phi_{t-\tau} (1 - a) (1 - b). \quad (3.1)$$

Объем отходов, пригодных для сбора и использования, для источника отходов первого типа определяется уравнением

$$P_{b,1} = [G_t (1 - k) (1 - \alpha) (1 - \beta) (1 - \gamma) + \Phi_{t-\tau} (1 - a) (1 - b)] (1 - \Omega). \quad (3.2)$$

В соответствии с блок-схемой рис.3.14 ресурсы отходов, в том числе для вторичных полимерных материалов, образующиеся в источнике второго типа, определяются уравнением

$$P_2 = \bar{\Phi}_t (1 - k_1) (1 - \alpha_1) + \Phi_{t-\tau} (1 - a_1) (1 - b_1). \quad (3.3)$$

Объем отходов, пригодных для сбора и использования, для источника отходов второго типа определяется уравнением

$$P_{b,2} = [\Phi_t (1 - k_1) (1 - \alpha_1) + \Phi_{t-\tau} (1 - a_1) (1 - b_1)] (1 - \Omega_1). \quad (3.4)$$

В соответствии с блок-схемой рис. 3.15 ресурсы отходов, в том числе для вторичных полимерных материалов, образующиеся в источнике третьего типа, определяются уравнением

$$P_3 = \Phi_{t-\tau} (1 - a_2) (1 - b_2). \quad (3.5)$$

Объем отходов, пригодных для сбора и использования, для источника отходов третьего типа определяется уравнением

$$P_{b,3} = \Phi_{t-\tau} (1 - a_2) (1 - b_2)] (1 - \Omega_2). \quad (3.6)$$

Из уравнений (3.1) – (3.6) следует, что для определения объемов отходов, образующихся в названных источниках, необходимо знать:

- объемы переработанного сырья, полуфабрикатов и материалов в готовую продукцию;
- объемы готовой продукции, направленной от производства потребителям;
- объемы готовой продукции (аппаратов, оборудования, технических средств и т.д.), используемой для осуществления технологического процесса переработки сырья, материалов, полуфабрикатов в готовую продукцию (см. рис.3.13), для передачи готовой продукции от производства потребителям (см. рис.3.14), для выполнения услуг нематериального характера и потребленной населением (см. рис. 3.15);
- нормативы образования отходов производства и безвозвратных потерь при переработке сырья, полуфабрикатов и материалов в готовую продукцию;
- нормативы образования отходов готовой продукции и ее безвозвратных потерь при хранении, транспортировке и реализации потребителям;
- нормативы образования отходов потребления и безвозвратных потерь в процессе использования готовой продукции в источниках образования отходов;
- временные нормативы использования готовой продукции;
- нормативы возврата готовой продукции для ее повторного использования;
- нормативы возврата части отходов производства в технологический процесс;
- нормативы использования части отходов для производства сопутствующей продукции;
- нормативы захоронения и уничтожения отходов производства и потребления.

Указанные нормативы разрабатываются отраслевыми научно-исследовательскими организациями, проектно-конструкторскими бюро и специализированными лабораториями применительно к конкретным источникам отходов.

Определение ресурсов отходов, пригодных для сбора и использования, по уравнениям (3.2), (3.4) и (3.6) нужно проводить с целью планирования развития системы заготовки и создания перерабатывающих отходы предприятий на основе уже разработанных технологий, а также с учетом экономической эффективности их утилизации. Следует подчеркнуть, что экономическая эффективность утилизации отходов должна определяться не только в сравнении с первичным сырьем, но и с учетом затрат на ликвидацию негативных последствий воздействия отходов на окружающую среду.

Разность между ресурсами отходов P (уравнения (3.1), (3.3) и (3.5)) и ресурсами отходов, пригодных для сбора и использования P_b , является основой для разработки новых технологий переработки отходов, которые не могут быть утилизированы по действующим технологиям, а также сырьевой базой будущих предприятий.

Выявленные типы источников позволяют решить задачу определения объемов отходов любого вида не только в отдельных источниках, но и в целом по региону. Для этого каждая сфера хозяйства (производства, обращения, потребления) должна быть представлена в виде обобщенного источника отходов типов, приведенных на рис. 3.13, 3.14, 3.15. Нормативы, определяющие образование отходов, пригодных для сбора и использования P_b , и ресурсов отходов P для обобщенных источников отходов в соответствии с уравнениями (3.1) – (3.6) должны определяться по среднеотраслевым показателям применительно к переработке конкретных объемов и видов исходного сырья или производства готовой продукции.

3.2.2. Основные понятия в системе утилизации полимерных отходов

Проведенные классификация и анализ структуры источников образования отходов позволяют сформулировать основные понятия в системе утилизации отходов.

Отходы производства – это остатки сырья, полуфабрикатов и материалов, образующиеся в процессе производства из них готовой продукции, которые утратили свои потребительские качества и не соответствуют стандартам.

Отходы обращения – это остатки сырья, полуфабрикатов, материалов и готовой продукции, которые в процессе движения от мест производства до потребителей утратили свои потребительские качества и не соответствуют стандартам.

Отходы потребления – это бывшая в использовании тара и упаковка, которая в результате физического или морального износа утратила свои потребительские качества и не может использоваться по прямому назначению.

Отходы потребления подразделяются на отходы, которые образуются в результате использования готовой продукции производственно-технического назначения, и отходы, которые образуются в результате использования готовой продукции культурно-бытового назначения.

Ресурсы отходов, пригодные для сбора и использования, - это отходы, для которых существует технология переработки, и их утилизация экономически целесообразна.

Вторичные ресурсы – это весь объем отходов, образующихся в народном хозяйстве.

Кроме понятий «отходы», «отходы, пригодные для сбора и использования», «вторичные ресурсы» важным является понятие «вторичное сырье». Обусловлено это тем, что для существующих технологий утилизации отходов последние должны соответствовать действующим ГОСТам, разработанным для вторичного сырья. Перевод отходов во вторичное сырье осуществляется в источниках образования отходов, системе заготовки и на перерабатывающих предприятиях путем облагораживания, обогащения или других необходимых технологических операций.

3.2.3. Ресурсы вторичных полимеров

Вторичные полимеры являются частью вторичных ресурсов, которые образуются в компактных источниках их накопления (рынки, супермаркеты, школы и др.) и у населения. Структура производства, переработки полимеров и использования готовой продукции из них включает следующие этапы: производство полимеров; переработка полимеров в готовую продукцию; распределение готовой продукции из полимеров по направлениям использования; использование изделий из полимеров в народном хозяйстве.

На всех этапах от производства полимеров до использования готовой продукции из них образуются отходы. Производство полимеров и переработка их в готовую продукцию осуществляются на промышленных предприятиях (компактных источниках отходов). Для выполнения технологических процессов производства и переработки также может использоваться готовая продукция из полимеров. Если представить процессы производства полимеров и их переработки в готовую продукцию как единый источник, то отходы в нем будут определяться уравнением (3.1).

При распределении готовой продукции из полимеров по направлениям использования через сферу обращения в виде единого источника второго типа объемы отходов в нем будут определяться уравнением (3.3). Применительно к населению объемы образующихся отходов полимеров определяются уравнением (3.5).

Анализ объемов отходов готовой продукции из полимеров при ее передаче от производства к потребителям показал, что величина их незначительная и при практических расчетах ими можно пренебречь. С учетом этого фактора, уравнений (3.1) и (3.3), среднеотраслевых нормативов, определяющих коэффициентов k , α , β ,

γ , a , a_1 , b и b_1 уравнение для определения ресурсов вторичных полимеров в компактных источниках в целом по народному хозяйству имеет вид

$$P^k = 0,066 G_t + 0,423 \Phi_{t-\tau}, \quad (3.7)$$

где G_t – производство полимеров в t -м году (фактическое, плановое), на который определяются ресурсы вторичных полимеров, т;

$\Phi_{t-\tau}$ – изделия из полимеров, которые начали использоваться в $(t-\tau)$ –м году в компактных источниках и учитываются как отходы полимеров в t -м году, т; в зависимости от вида полимеров и готовых изделий из них срок службы готовых изделий может изменяться в пределах $\tau = 1-20$ лет.

Аналогично для отходов у населения уравнение для определения ресурсов вторичных полимеров имеет вид

$$P^H = 0,411 \Phi_{t-\tau}, \quad (3.8)$$

где $\Phi_{t-\tau}$ – изделия из полимеров, которые начали использоваться населением в $(t-\tau)$ – м году, т; значение τ также находится в пределах 1-20 лет.

В соответствии с формулами (3.7), (3.8) общее уравнение для определения ресурсов вторичных полимеров в целом по стране имеет вид

$$P = P^k + P^H = 0,066 G_t + 0,416 \Phi_{t-\tau}, \quad (3.9)$$

Численные значения коэффициентов в уравнениях (3.7), (3.8) и (3.9) получены применительно к полиэтилену, поливинилхлориду, полистиролу, капрону и изделиям из них.

Относительно уравнения (3.9) нужно заметить следующее. Значение G_t всегда больше количества полимеров, содержащихся в готовой продукции, поступившей в t -м году для использования в народном хозяйстве. Связано это с тем, что полимеры используются для выпуска готовой продукции, которая в дальнейшем учитывается в виде других отходов, например, как отходы вторичных текстильных материалов, поскольку значительная часть полимеров идет на производство текстильной продукции. Относительно малое значение численного коэффициента при втором члене уравнения определяется тем, что при длительных сроках использования и в зависимости от условий эксплуатации изделий из полимеров последние претерпевают деструкцию и уже не могут рассматриваться как вещества с заранее известными свойствами. Кроме того, часть изделий по объективным причинам подвергается уничтожению, например, сжигается.

Уравнение (3.9) является простым для практического использования. Объем производства полимеров в целом по народному хозяйству в каждый конкретный год приводится в статистическом ежегоднике ЦСУ. Данные об объемах готовой продукции из полимеров, поступившей в компактные источники и к населению, имеются в соответствующих плановых организациях.

Оценка объемов ресурсов вторичных полимерных материалов в соответствии с уравнением (3.9) показывает, что ежегодный объем их образования составляет значительную величину. Если принять, что в t -м году $G_t = 2000$ тыс.т, а $\Phi_{t-\tau} = 1000$ тыс.т, то ресурсы вторичных полимеров в t -м году составят:

$$P = 2000 \cdot 0,066 + 1000 \cdot 0,416 = 548 \text{ тыс.т.}$$

При известных перспективных объемах производства полимеров и объемах потребления готовой продукции из них уравнение (3.9) позволяет получить

прогнозные данные о количестве образующихся вторичных ресурсов, что важно не только для разработки технологии переработки вторичных полимеров и создания перерабатывающих предприятий, но и для развития системы заготовки вторичных полимеров.

3.2.4. Методы сбора и заготовки вторичного полимерного сырья

Главным звеном заготовительной системы являются производственно-заготовительные предприятия (ПЗП) и заготовительно-производственные конторы (ЗПК). Производственно-заготовительные предприятия, приемные пункты, работу с компактными источниками отходов строят через штат заготовителей, которые решают все практические вопросы заготовки отходов на закрепленных за ними территориях: выявление источников отходов, ресурсов отходов в источниках их образования, заключение договоров с предприятиями на поставку отходов вторичного сырья, обеспечение ритмичности поставок отходов из источников их образования и т.д. Сбор отходов потребления населения производится через сеть приемных пунктов (стационарных и передвижных), жилищно-эксплуатационные конторы, домоуправления, школы, рынки и др.

Как правило, сбором вторичных полимеров (отходов производства) непосредственно на промышленных предприятиях занимаются лица, работающие на оборудовании в линиях по производству полимеров и готовой продукции из них. Они осуществляют также сортировку отходов по видам полимеров и в случае необходимости по цвету. Отходы загружают в специальную тару (крафт-мешки, контейнеры) и направляют на специальный склад, где они хранятся до отправки на ПЗП или на перерабатывающие вторичное сырье предприятия. С учетом конкретных условий на предприятиях действуют положения о порядке сбора, сортировки и хранения отходов полимеров.

Сбор отходов потребления в компактных источниках (полиэтиленовой пленки сельскохозяйственного назначения, мешков из-под удобрений) проводят на основе «Инструкции о порядке сбора полиэтиленовой пленки». В соответствии с этой инструкцией обязательным является возврат использованной пленки во вторичную переработку. Процент возврата использованной пленки ориентировочно определен в 8-12 %. Основной трудностью при переработке использованной пленки (помимо технологических вопросов) является ее высокая загрязненность (до 20-25 %), тогда как по техническим требованиям на вторичное полимерное сырье она не должна превышать 5 %. Отмывка пленки от примесей требует определенных затрат и не стимулирует сдатчиков к проведению этой работы. Данную задачу можно решить с помощью не только организационно-технических мероприятий, но и системы цен на вторичное полимерное сырье.

Заготовку вторичных полимеров от населения начали проводить в последние годы. На приемных пунктах вторичные полимеры принимают тогда, когда полимер можно идентифицировать: тарные мешки, использованная пленка, изделия культурно-бытового назначения. Аналогичное положение имеет место и при заготовке вторичных полимеров через жилищно-эксплуатационные конторы, домоуправления и школы.

В общем объеме заготовки вторичных полимеров в стране на компактные источники приходится 90 % и 10 % на население. Низким остается уровень сбора ресурсов вторичных полимеров от населения – ориентировочно около 5 – 7 %. Это обусловлено сложностью определения вида отходов. Хотя существует ряд способов распознавания полимеров (по плотности, температуре плавления, химической стойкости, запаху при горении, характеру разреза изделий из полимеров и т.д.), их использование на практике требует высокой подготовки заготовителей, специального оборудования, а также площадей для его размещения. Проведение этих мероприятий, особенно технического и технологического характера, связано с увеличением затрат на заготовку, которые сейчас достигают 70 % от общих затрат на утилизацию отходов. Организация в цехах ПЗП участков и линий по сортировке вторичных полимеров (при заготовке смешанных полимерных отходов) также связана с увеличением затрат, что снижает заинтересованность заготовительной системы во внедрении таких технологий без соответствующей экономической компенсации затрат на эти цели. Заготовительная система может существенно увеличить объемы заготовки вторичных полимеров (отходов потребления), если будут разработаны простые и надежные методы распознавания полимеров, технология утилизации их смешанных отходов.

Существует и другой путь увеличения объемов заготовки отходов потребления населения. Для этого необходимо осуществлять маркировку готовых изделий при их производстве, но на практике данный вопрос еще не решен. Остается нерешенной и задача снижения затрат на транспортировку вторичных полимеров.

В настоящее время широко внедряются организационно-технические мероприятия (расширение сети приемных пунктов, производственно-заготовительных предприятий, выпуск необходимого оборудования, расширение сети специализированных предприятий по переработке вторичных полимеров и т.д.), которые смогут обеспечить выполнение постановлений Кабинета Министров Украины № 183 от 28 февраля 2001г., № 915 от 26 июля 2001 г., № 1084 от 26 июля 2002г. в части сбора, заготовки и переработки ресурсно-ценных компонентов, входящих в состав ТБО как вторичное сырье.

3.2.5. Сбор полимерных отходов

Технико-экономическая эффективность использования вторичного полимерного сырья зависит от его технологических свойств, которые в значительной степени могут быть сохранены при условии правильной организации его сбора, хранения и соблюдения технологии при повторной переработке. Использование вторичного полимерного сырья в виде гранул расширяет сырьевую базу регионов. Это связано с внедрением замкнутых оборотов (первичное сырье – продукция - вторичная переработка использованной продукции в виде тары, упаковки, разовой посуды, вторичное сырье – продукция для коммунального хозяйства, других видов изделий из вторичного полимерного сырья, не контактирующих с пищевыми продуктами) и дальнейшим повышением уровня использования вторичного полимерного сырья и применением малоотходных технологий рециклинга.

Сбор и переработка чистых монотонных отходов производства и переработки полимеров не вызывает сложности, так как в основном они перерабатываются по месту образования как технологические «деловые» отходы производства. Система мониторинга источников образования полимерных отходов подтверждает сложность сбора, хранения отходов бытового, коммерческого и производственного потребления пластических масс и изношенной полимерной продукции, на долю которых приходится более половины всех отходов полимеров. Учитывая тот факт, что на организацию сбора, транспортировку отходов полимеров уходит до 50 % всех затрат на утилизацию, а увеличение мощностей по переработке полимерных отходов требует их бесперебойного обеспечения вторичным сырьем, проблема эффективного сбора полимерных отходов приобретает все большую актуальность. Подтверждением этого являются постановления Кабинета Министров Украины № 915 от 26 июля 2001 г. и № 1084 от 26 июля 2002 г.

С целью активизации сбора отходов полимеров в большинстве регионов Украины разрабатываются специальные программы. За качеством отходов должен осуществляться контроль согласно требованиям рынка сбыта, так как качество отходов определяет их стоимость. Собранные отходы должны быть освобождены от металлов, стекла, бумаги, сопутствующих загрязнений и храниться в закрытых помещениях для предотвращения их старения и воздействия процессов деструкции.

Сборщики отходов должны знать собираемые виды отходов пластмасс по прилагаемым образцам к инструкции по их сбору, возможные загрязнения и влияние загрязнителей на качество сырья. Не все композитные смеси полимерных отходов пригодны для эффективно-качественной переработки, поэтому их необходимо разделять по видам. Подробно об этом говорится в параграфе 3.1.2 «Внедрение технологии переработки тары и упаковки на ГКП «Харьковкоммуночиствод» с учетом реальной базы данных об их образовании».

Анализ системы мониторинга источников использованной тары и упаковки как вторичного сырья (см. параграфы 3.1.1; 3.1.2) показал, что в валовом объеме полимерных отходов тара и упаковка составляет 30 – 45 %. Поэтому во всех промышленных регионах страны сбору отходов упаковочных материалов, тары, разовой посуды, в том числе ПЭТ-бутылок уделяется повышенное внимание.

Основными требованиями при сборе и заготовке отходов полимеров являются их однотипность и чистота. Эти требования соблюдаются для полимерных отходов I и II категорий, образующихся при промышленном получении и переработке пластмасс. Поэтому при организации приемных пунктов по сбору полимерных отходов необходимо обязательно принимать в расчет все источники отходов полимеров II категории в сфере общественного потребления (коммерческие отходы) и III категории отходов, образующихся в быту. Для отходов таких категорий характерны разнотипность, значительные повреждения и загрязненность. Этот фактор определяет два основных способа их заготовки:

- сбор и заготовка полимерных отходов через приемные пункты;
- выделение, отбор из общего валового сбора бытовых отходов методом механизированной сортировки на мусоросортировочных станциях.

При механизированной сортировке наряду с полимерными отходами, ПЭТ-бутылкой могут быть выделены и другие дорогостоящие виды вторичных ресурсно-ценных компонентов (металлы, стекло, макулатура, резина и др.). Способ механизированной сортировки с отбором ценных сырьевых компонентов требует высоких инвестиционных затрат, поэтому он еще не нашел в Украине широкого внедрения, особенно крайне необходимого в густонаселенных мегаполисах. Для регионов страны с большой концентрацией промышленности целесообразен поэтапный переход от полигонного захоронения к промышленной утилизации отходов. На первом этапе должна быть внедрена механизированная сортировка бытовых отходов как источник отбора сырьевых компонентов. Каждый из этапов перехода к промышленной переработке отходов как независимое внедрение экономически не принесет прибыли, но будет оправдан с точки зрения экологии.

Раздельный селективный сбор полимерных отходов как вторичного сырья может найти широкое распространение в регионах страны при устранении двух недостатков:

- отсутствия материального стимулирования;
- недостаточности экологического образования населения.

В Украине до 1990 г. частичный сбор отходов потребления полимеров в компактных источниках осуществлялся заготовительными предприятиями системы Госнаба и Центросоюза через приемно-заготовительные пункты. Из полученного вторичного гранулята эти предприятия изготавливали полимерные ящики для овощей и фруктов, безнапорные трубы и детали трубопроводов, сенажную полимерную пленку.

Селективный сбор отходов пластмасс, образовавшихся у населения, в Украине организованно никогда не производился. В Германии акционерное общество «Дуаль систем Дойчленд», объединяющее более 600 организаций, принадлежащих к торговым и промышленным центрам, работает по принципу самокупаемости при сборе и переработке полимерных отходов. Собранные отходы тары и упаковки направляются на мусоросортировочные станции (центры), число которых на территории Германии превышает 320.

При основательной разъяснительной работе среди населения вариант селективного сбора отходов у нас может быть реализован. Большинство граждан готовы к участию в сборе и заготовке ресурсно-ценных отходов, но необходимость постоянной разъяснительной целенаправленной работы и информации по этому вопросу реально существует.

С целью обмена информацией об имеющихся отходах в г. Харькове общественной организацией «Экоинформ» при поддержке Канадского фонда сотрудничества создан специализированный сайт «Мир отходов» < <http://www.waste.com.ua> >. Обмен информацией поможет предприятиям по переработке отходов решить вопросы:

- приобретения и реализации вторсырья;
- новых технологий и оборудования для переработки отходов;
- услуг в сфере обращения с отходами;

- поиска инвестиций для перспективных пилотных проектов в сфере отхоодообращения.

Преимущество такого подхода заключается в возможности с минимальными затратами организовывать сбор отходов в строго определенные временные рамки вблизи мест проживания граждан, получающих информацию по автоматической системе телефонного оповещения и спроса.

Первоочередной задачей разработки схемы управления ТБО является организация их сбора и удаления (транспортировки). Промедление с удалением ТБО из мест образования недопустимо, так как может привести к серьезному загрязнению города. Удаляют ТБО на полигоны захоронения или на специальные заводы для переработки и обезвреживания.

Постепенный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке является основной тенденцией решения проблемы ТБО в мировой практике. Вовлечение ТБО в промышленную переработку во многом снимает противоречие между городом, где образуется большое количество отходов, и пригородом, где отходы должны быть размещены.

Минимизация количества отходов, направляемых на объекты их переработки и захоронения, решается на основе включения в схему управления операций по сортировке ТБО и выделению ресурсов, пригодных для дальнейшего использования. Предварительная сортировка отходов является основным методом минимизации их количества, поступающего на объекты санитарной очистки.

Принципиально возможны три взаимодополняющих друг друга направления сепарации ТБО:

- селективный покомпонентный сбор отходов у населения в местах образования с последующей доводкой продуктов на специальных сортировочных установках (преимущественно методами ручной сортировки, для извлечения металлов иногда применяется механизированная сепарация);
- селективный пофракционный сбор в местах образования так называемых коммерческих отходов, образующихся в нежилом секторе города (отходы рынков, магазинов, учреждений, школ и др.) с последующим извлечением из них ценных компонентов комбинированными методами ручной и механизированной сортировки (на специальных объектах);
- сортировка в заводских условиях при комплексной переработке ТБО (преимущественно механизированная, поскольку ручная сортировка отходов жилого фонда на ленте тихоходного конвейера малоэффективна, в ряде случаев технологическая схема может включать элементы ручной сортировки крупнокусковых фракций ТБО).

В экономических условиях Украины в ближайшее время сложно организовать селективный сбор отходов потребления у населения. Это объясняется неподготовленностью последнего, отсутствием соответствующих условий и технического обеспечения, наличием в жилых домах специфических мусоропроводов, большими трудозатратами и др. Поэтому здесь более предпочтителен не покомпонентный, а пофракционный сбор муниципальных отходов с направлением обогащенных фракций на специальные комплексы по сортировке и переработке, создание которых не требует больших

капиталовложений. В то же время актуальной является организация пунктов приема вторсырья от населения, а также организация, в порядке эксперимента, контейнерного сбора отдельных компонентов. В результате одновременно обеспечивается получение ценной, пользующейся спросом продукции и сокращение количества отходов, направляемых на захоронение или сжигание.

Сортировке на специальных объектах должны подвергаться отходы нежилого сектора города (торговые и коммерческие предприятия, административные учреждения, учебные заведения и т.п.), характеризующиеся повышенным содержанием незагрязненной макулатуры, металлов, полимерных отходов и низким содержанием пищевых и растительных остатков. Следовательно, оптимальный состав ТБО, вовлекаемых в масштабную переработку для получения ценных продуктов, должен подбираться за счет централизованной организации в городе несмешивающихся потоков муниципальных отходов, часть которых, обогащенная ценными компонентами, направляется на комплексы по сортировке и переработке ТБО. Необходимым условием самоокупаемости таких комплексов является направление на сортировку отходов, обогащенных ценными компонентами. По имеющимся расчетам, доходы от реализации вторичного сырья превышают расходы на его сортировку при выходе полезной продукции более чем на 8 %. Таким условиям отвечает вовлечение в сортировку отходов нежилого сектора города.

Эффективность управления любой системой, в том числе ТБО много-тоннажных отходов потребления, существенно повышается при регулировании входящих в систему потоков. Управление качеством и количеством образующихся ТБО на основе их разделения на несколько несмешивающихся потоков (раздельный сбор отходов жилого и нежилого сектора, опасных компонентов, вторичного сырья у населения) позволяет создать систему обращения с отходами, отвечающую современным требованиям экологии, экономики и ресурсосбережения. Таким образом, на стадии сбора и удаления ТБО во многом определяется эффективность и безопасность их дальнейшей переработки и захоронения. Подвергая до 40 % образующихся отходов сортировке, мы обеспечиваем сокращение потока отходов, направляемых на объекты их переработки и захоронения, на 20 % (при извлечении ценных компонентов – на уровне 50 %).

Ограниченные финансовые возможности предполагают поэтапное решение проблемы муниципальных отходов. Поскольку дорогостоящая промышленная переработка является конечной операцией в общей схеме управления ТБО и ее эффективность во многом зависит от организации работы на предшествующей стадии – сбора и транспортировки (удаления) муниципальных отходов, первоочередной задачей в управлении ТБО на ближайшую перспективу является оптимизация их сбора и удаления (при неизменной стратегии перехода от полигонного захоронения ТБО к промышленной переработке).

3.3. Общая характеристика полимерных отходов

Полимеры (от греческого polus (полюс) – много и meros (мерос) – часть) – это соединения с высокой молекулярной массой, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев, соединенных между собой ковалентными связями. Число исходных молекул – мономеров, образующих макромолекулу, может составлять тысячи и даже миллионы.

Переход от низкомолекулярных соединений к высокомолекулярным связан с качественным изменением свойств, обусловленных количественными изменениями молекулярной массы. Однако по числу атомов, входящих в состав макромолекулы, или по величине молекулярной массы нельзя провести резкую границу между низко- и высокомолекулярными соединениями, так как для веществ разных классов качественные изменения наблюдаются при различной молекулярной массе. Например, китайский таннин, имеющий молекулярную массу 1000, является классическим низкомолекулярным соединением, тогда как парафины с молекулярной массой 1000 обладают всеми свойствами высокомолекулярных соединений. Поэтому условно к макромолекулам в настоящее время относят вещества с молекулярной массой не менее 1000.

Технология полимеров уже давно идет по пути создания полимерных композиционных материалов, для получения которых в состав полимерных связующих вводят различные добавки (наполнители, стабилизаторы, пигменты и красители, структурообразователи, антипирены и др.).

Научно обоснованная классификация полимеров до настоящего времени остается проблемой. В основу классификации полимеров могут быть положены различные признаки. Рассмотрим ряд классификаций полимеров.

Классификация по свойствам. По этой классификации полимеры классифицируют таким образом:

- пластмассы;
- эластомеры;
- эластопласты;
- пластики;
- наполненные;
- ненаполненные;
- армированные;
- слоистые.

По происхождению:

- *синтетические*, полученные путем синтеза из низкомолекулярных соединений;
- *природные*, выделенные из природных материалов;
- *искусственные*, полученные путем химической модификации природных полимеров.

В последние годы природные полимеры, обладающие биологической активностью (белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и др.), выделяют в отдельную группу – биополимеры.

По отношению к нагреванию все полимеры делятся на три класса:

- *термопластичные* – характеризуются обратимыми изменениями свойств при нагревании – могут многократно переходить в текучее состояние и затвердевать (полиолефины, полистирольные пластики, полиэтилентерефталат и др.);
- *термореактивные* – характеризуются необратимыми изменениями свойств при нагревании. При нагревании они размягчаются, в дальнейшем отверждаются (структурируются) и переходят в неплавкое и нерастворимое состояние (фенолоальдегидные, аминокальдегидные, ненасыщенные полиэфирные и др.);
- *элементореактивные* – характеризуются необратимыми изменениями свойств при нагревании с некоторыми элементами. Обычно это полимеры, сохраняющие в цепях кратные связи, – полибутадиен, полиизопрен и др.

По способу получения синтетические полимеры подразделяют на:

- *полимеризационные* – полученные реакцией полимеризации;
- *поликонденсационные* – полученные реакцией поликонденсации.

В каждой из перечисленных классификаций имеются недостатки, связанные с неполным охватом всего многообразия полимеров.

Наиболее рациональной классификацией является химическая, в основу которой положено строение основной цепи. По этому признаку полимеры делятся на три большие класса:

1. Гомоцепные – основная цепь полимеров построена из одинаковых атомов, например, из атомов углерода – карбоцепные. К карбоцепным полимерам относятся природные – натуральный каучук, а из неорганических – все модификации элементарного углерода – аморфный углерод, графит, алмаз.

К синтетическим карбоцепным полимерам относятся все высокомолекулярные насыщенные, ненасыщенные и ароматические углеводороды (полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат, полибутадиен, полифенилены) и др.

2. Полимеры, основная цепь которых состоит из двух или большего числа разных элементов, например, углерода и кислорода, углерода и серы, углерода и азота, кислорода и кремния, образуют гетероцепные цепи

В зависимости от гетероатома, входящего в состав основной цепи, гетероцепные полимеры подразделены на:

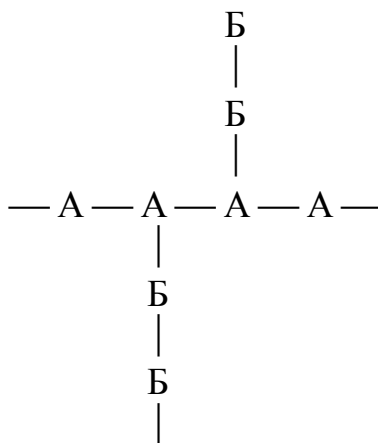
- кислородсодержащие (простые полиэфиры, полиацеталы, сложные полиэфиры, поликарбонаты и др.);
- азотсодержащие (полиамиды, белки, полиуретаны и др.);
- серосодержащие (полисульфиды, полисульфоны);
- элементоорганические полимеры (полисилоксаны, полиалюмоксаны, полититаноксаны и др.)

Следует учитывать, что гетероцепные полимеры могут быть как органические, так и неорганические.

3. Полимеры с системой сопряженных связей. В эту группу могут входить как карбоцепные, так и гетероцепные полимеры.

Если макромолекула построена из одинаковых структурных единиц, то такие полимеры называются гомополимерами, а если из разных – сополимерами.

Звенья разных типов могут быть соединены между собой случайно, чередоваться в одинаковой последовательности. Если основная цепь полимеров построена из одних звеньев, а боковые ответвления – из других, то такие сополимеры называются привитыми или графтсополимерами.



У некоторых сополимеров звенья мономеров могут образовывать довольно длинные последовательности:



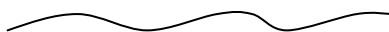
Такие сополимеры называются блок-сополимерами.

Структурные формы полимерных молекул

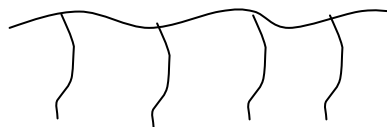
Составные звенья полимерных молекул могут быть соединены в цепи различным образом, формируя разнообразные структурные виды макромолекул.

Различают следующие их типы:

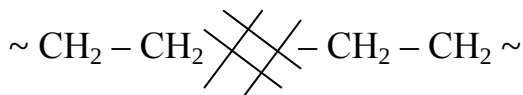
1. Линейные однотяжные



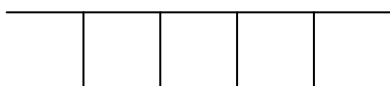
- гребнеобразные



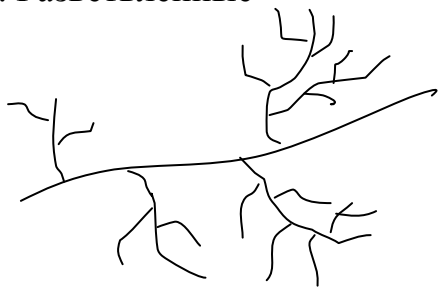
- циклоцепные



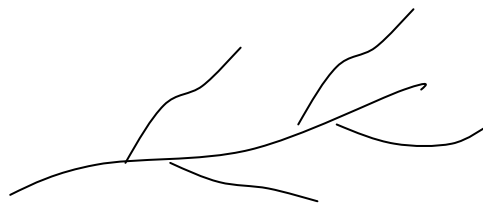
2. Линейные двухтяжные (плоскосетчатые)



3. Разветвленные

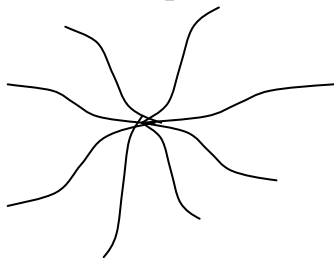


Разветвления типа «дерева»

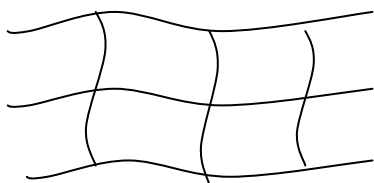


Разветвления типа «птичьего пера»

4. Звездообразные



5. Трехмерные сшитые



Сополимеры, как и гомополимеры, также могут быть линейными, разветвленными или сетчатыми.

В полимерные материалы вводят добавки для придания им требуемых эксплуатационных свойств и облегчения условий переработки.

Добавки вводят во все полимеры, так как часто переработка и применение полимеров, не содержащих добавок, невозможны.

Количество добавок может изменяться в широких пределах – от долей до десятков процентов в расчете на полимер.

Вводимые добавки должны диспергироваться в полимере с образованием достаточно однородных композиций, иметь стабильные свойства при хранении, в условиях переработки и эксплуатации полимерного материала.

Желательно также, чтобы продукты, применяемые в качестве добавок, были безвредны для организма. Ниже рассматриваются основные группы добавок.

Наполнители могут влиять на самые разнообразные свойства полимеров: прочность, твердость, теплопроводность, теплостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, диэлектрические и фрикционные свойства и др. По происхождению наполнители делятся на органические и неорганические (минеральные), по структуре – на порошкообразные, волокнистые и листовые.

Механизм взаимодействия полимера с наполнителем определяется химической природой этих материалов и характером поверхности наполнителя.

Наибольший эффект достигается при возникновении между наполнителем и полимером химических связей или значительных адгезионных сил. Наполнители, способные к такому взаимодействию с полимером, называют активными, не взаимодействующие с полимером – инертными. Последние применяют главным образом для облегчения переработки полимеров и снижения стоимости изделий. Содержание наполнителя в полимерном материале, как правило, не превышает 50 % (в расчете на полимер), в отдельных случаях оно составляет ~ 90 %. С увеличением содержания наполнителя уменьшается текучесть полимерных материалов, что может вызывать затруднения при их переработке.

Для получения наполненных полимерных материалов применяют различные способы, зависящие от типа полимера и структуры наполнителя: смешивание на вальцах или в смесителях, пропитка наполнителей растворами или дисперсиями полимеров и др.

Пластификаторы применяют для повышения пластичности и расширения интервала высокоэластичного состояния полимерных материалов. Кроме того, эти добавки облегчают диспергирование в полимере сыпучих ингредиентов, регулируют клейкость полимерных композиций, снижают их вязкость и температуру формования изделий. Важнейшее требование к пластификаторам – способность совмещаться с полимером. Пластификаторы не должны быть летучими и мигрировать («выпотевать») на поверхность полимерных материалов в процессе эксплуатации изделий.

В качестве пластификаторов применяют как индивидуальные органические соединения (например, сложные эфиры), так и разнообразные технические смеси, (например, нефтяные минеральные масла) с различным содержанием ароматических, нафтенных и парафиновых углеводородов. Для большинства полимерных материалов одновременно применяют смеси пластификаторов разных типов (два – три и более). Содержание пластификаторов может изменяться в широких пределах; в некоторых случаях оно достигает 30-40 % в расчете на полимер.

Стабилизаторы применяют для защиты полимеров от старения. Основные виды стабилизаторов: антиоксиданты, которые являются ингибиторами термической деструкции и термоокислительной деструкции; антиозонанты – ингибиторы озонного старения; светостабилизаторы – ингибиторы фотоокислительной деструкции; антирады – ингибиторы радиационной деструкции. К стабилизаторам относятся также противоутомители – вещества, повышающие усталостную выносливость резин при многократных деформациях.

При выборе стабилизирующей системы необходимо учитывать возможность взаимного влияния разных ингредиентов. Так, некоторые антиозонанты ускоряют фотоокислительную деструкцию полимеров. Ряд красителей обладает свойствами эффективных светостабилизаторов, некоторые наполнители (например, сажа) ингибируют окисление пластмасс и резин. Ненасыщенные пластификаторы могут взаимодействовать со стабилизатором и подавлять его действие. В ряде случаев проявляется взаимное усиление действия двух и более стабилизаторов (так называемый синергический эффект). Некоторые стабилизаторы (например,

производные вторичных ароматических. аминов и *n* – фенилендиамина) обуславливают изменение цвета белых и светлоокрашенных полимерных материалов при их эксплуатации в условиях светового воздействия.

Красители – применяют для получения окрашенных полимерных материалов. Для этой цели пригодны органические красители различных классов (пигменты и лаки, жиро-, спирто- и водорастворимые красители др.) и неорганические пигменты. К красителям предъявляют следующие требования: 1) высокая дисперсность (размер частиц 1-2 мкм); 2) отсутствие склонности к миграции на поверхность изделий; 3) свето-, термо- и атмосферостойкость; 4) стойкость к действию кислот, щелочей и др. агрессивных сред. Красители могут вводиться в полимеры в виде порошков, паст или гранул, которые содержат 30-70 % красителя, диспергированного в связующем.

Сшивающие агенты – вводят в полимеры для создания на определенной стадии переработки поперечных связей между макромолекулами. Образование этих связей обуславливает повышение прочностных и др. технических свойств полимерных материалов. Сшивающие агенты условно подразделяют на вулканизующие агенты (для каучуков) и отвердители (для пластиков).

Вулканизующие агенты (сера, органические дисульфиды и др.) применяют в сочетании с ускорителями и активаторами вулканизации. Иногда в резиновую смесь вводят замедлители подвулканизации, или антискорчинги (фталевый ангидрид, трихлормеламин, нитрозосоединения и др.).

В качестве отвердителей могут применяться различные полифункциональные соединения (диамины, кислоты и их ангидриды, гликоли, аминспирты, изоцианаты и др.), инициаторы полимеризации в сочетании с ускорителями и активаторами. К сшивающим агентам относятся сиккативы – добавки, ускоряющие высыхание (структурирование) пленкообразующих полимерных материалов.

Структурообразователи (регуляторы структурообразования) – добавки, влияющие на процессы образования надмолекулярных структур и способствующие получению материалов с желаемой структурой. Такими добавками могут служить различные окислы, карбиды, нитриды и др. соединения в виде тонкодисперсных порошков, а также некоторые соли органических кислот, поверхностно-активные вещества и др. Играя роль искусственных центров кристаллизации или снижая поверхностное натяжение на границе кристалл – расплав, эти компоненты способствуют возникновению в полимерном материале мелкокристаллической структуры, характеризующейся улучшенными физико-химическими, прочностными и др. свойствами. Равномерное распределение структурообразователей в полимере связано со значительными трудностями, так как их содержание составляет всего 0,1 – 1,0 % в расчете на полимер.

Порообразователи – вводят для получения полимерных материалов пористой структуры. Такая структура создается в результате протекания физических процессов, приводящих к возникновению в массе полимера парогазовой фазы, или химических реакций, сопровождающихся выделением газообразных продуктов. В первом случае порообразователями служат химически инертные низкомолекуляр-

ные углеводороды, обладающие в газообразном состоянии низким коэффициентом диффузии (например, пентан, изопентан, гексан), во втором – соединения, которые либо разлагаются при определенной температуре с выделением газообразных продуктов, либо выделяют эти продукты в результате взаимодействия с полимером или с другими инертными полимерными материалами.

Смазки – применяют с целью снижения липкости и предотвращения прилипания полимерных материалов к рабочим поверхностям оборудования. Смазками служат парафины, воски и др. вещества, склонные к миграции на поверхность полимера. Они облегчают также диспергирование в полимере сыпучих ингредиентов и способствуют повышению озоностойкости полимерных материалов.

Антипирены – добавки, снижающие горючесть полимерного материала, затрудняющие его воспламенение и замедляющие процесс распространения в нем пламени (в идеальном случае приводящие к его самозатуханию при вынесении из пламени). Эти добавки не должны ухудшать основные свойства материала – прочность, теплостойкость и др., должны обладать достаточной атмосферостойкостью, низкой токсичностью и не взаимодействовать с остальными компонентами в условиях переработки. Наиболее целесообразно введение антипиренов в полимерный материал при его изготовлении или перед переработкой. Однако они могут применяться также в виде покрытий. Антипиренами служат главным образом галогеносодержащие соединения, производные фосфора, изоцианаты, соединения сурьмы, а также их комбинации.

Антистатика препятствуют возникновению и накоплению статического электричества в конструкциях и изделиях из полимерных материалов. К этой группе относятся различные поверхностно-активные вещества – амины, четвертичные аммониевые основания и др.

Антимикробные агенты – добавки, препятствующие зарождению и размножению микроорганизмов. Пигменты, способные к сильному поглощению ультрафиолетового излучения, являются хорошей защитой для пластмасс. В частности, газовая сажа поглощает излучения в широком диапазоне частот и является "ловушкой" для свободных радикалов. Пигменты, содержащие металлические ионы (кобальтовая синь, двуокись титана), ускоряют образование радикалов и способствуют деструкции полимера.

С целью уменьшения горючести пластмасс в полимер вводят антипирены (например, хлорированные парафины, пентабромтолуол, бромфталамид и др.), которые при высоких температурах разлагаются с образованием галогенрадикалов, а последние реагируют с очень активным радикалом $-OH$, образуя воду.

Наиболее широко в качестве антипиренов используют соединения, содержащие галоген и фосфор, смеси галогенсодержащих соединений и оксидов сурьмы, соединения бора и их смеси.

3.3.1. Классификация полимерных отходов

Характерной особенностью отходов полимерных материалов (пластмасс) является то, что они устойчивы к агрессивным средам, процессы их деструкции в естественных условиях протекают медленно – прежде чем они будут утилизированы, микроорганизмами должно пройти 80 – 100 лет. Поэтому полимеры являются источником длительного загрязнения окружающей среды, а увеличивающиеся объемы их применения требуют все возрастающих затрат для защиты среды от полимерных отходов.

Высокая устойчивость полимеров к факторам внешней среды и большой их объем делают целесообразным их повторное использование. В отличие от металлолома, из которого можно получить конструкционный материал по свойствам, не уступающим исходному, полимерные материалы при изготовлении продукции и ее эксплуатации изменяют свои свойства из-за процессов старения и сопутствующих химических реакций, поэтому из полимерных отходов довольно сложно получить материал, идентичный исходному. Сложность проблемы заключается в том, что в зависимости от условий переработки полимеров в изделия, условий их эксплуатации химическая и физическая структура полимера изменяется, поэтому для вторичного полимерного материала следует вести поиск оптимальных условий использования. Решать эту проблему приходится в каждом конкретном случае, для каждого источника сырья. Различают три основных источника образования полимерных отходов.

Отходы синтеза – производственные отходы, которые образуются при осуществлении технологического процесса получения полимеров. К ним относятся отходы чистки реакторов, отходы в виде слитков-выливов, россыпи, партии материалов с нестандартными параметрами и др. Предыстория таких отходов в каждом случае в основном известна, поэтому они довольно легко могут быть модифицированы и доведены до состояния, которое необходимо для производства из них полезной продукции.

Отходы переработки – технологические отходы, которые образуются при переработке полимерных материалов в изделия. Это бракованные изделия, литники, слитки из смесей полимеров (образующиеся при чистке перерабатывающих машин и агрегатов). Предыстория таких отходов тоже известна. Как правило, после измельчения их используют как добавку к основному материалу для тех же изделий, если это допускается техническими требованиями. Улучшению технологических свойств таких отходов посвящено много работ. Однако еще не решены технологические вопросы переработки бракованных изделий, содержащих непolyмерные (металлические, керамические и др.) армирующие элементы, и слитков разнородных полимеров, образующихся при чистке машин.

Отходы синтеза и переработки иногда объединяют в одну группу – отходы производства.

Отходы потребления представляют все многообразие полимерных изделий, бывших в эксплуатации. Здесь возможно как существенное, так и незначительное изменение исходных свойств полимерных материалов. Процесс изменения свойств пластмасс сопровождается деструкцией и старением.

Деструкцией называют реакции, протекающие с разрывом химических связей основной молекулярной цепи, приводящие к разрушению макромолекул и снижению молекулярной массы полимера.

Старением называют процесс самопроизвольного изменения физико-химических, физико-механических и других свойств пластмасс во времени (в процессе эксплуатации и хранения).

3.3.2. Физико-химические процессы деструкции полимерных отходов

При эксплуатации или хранении полимеры стареют, что проявляется в неблагоприятном изменении их свойств. Старение полимеров может быть следствием как физических процессов, например самопроизвольной кристаллизации или «выпотевания» пластификатора, так и химических, из которых наибольшее значение имеют структурирование и деструкция.

Деструкция полимеров может протекать в результате разрыва или распада (деполимеризации) основной цепи, отщепления или разрушения заместителей (боковых групп макромолекул).

Различают физическую и химическую деструкции. Физическая деструкция протекает под действием тепла, света, излучений высокой энергии, при механическом воздействии и соответственно называется термической, фотохимической, радиационной, механохимической деструкцией.

Химическая деструкция полимеров вызывается действием химических агентов – кислот, щелочей, воды, кислорода и др. При старении полимеров в реальных условиях деструкция происходит под влиянием факторов, что, как правило, приводит к увеличению скорости этого процесса. Поскольку переработка, а часто и эксплуатация полимеров связаны с воздействием высоких температур, а при этом полимеры обычно находятся в контакте с воздухом, наибольшее значение имеют термическая и термоокислительная деструкция полимеров.

Термическая деструкция полимера протекает при высоких температурах в инертной атмосфере или в вакууме. Иногда этот процесс называют пиролизом.

В большинстве случаев термический распад полимеров протекает как цепной радикальный процесс со стадией инициирования, роста и обрыва цепи. Инициирование термического распада осуществляется за счет разрыва химических связей двух типов – слабых, например аллильных или перекисных, и повторяющихся связей основной цепи. В соответствии с этим термический распад большинства полимеров протекает в две стадии – при разных температурах и с существенно различными энергиями активации. Основная масса полимера, как правило, распадается на второй стадии термического распада.

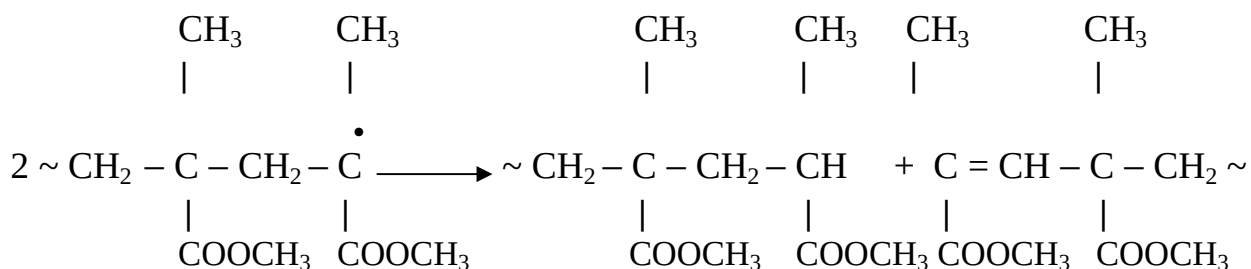
Кинетическая цепь при термическом распаде полимеров развивается в результате трех элементарных реакций – деполимеризации, передачи цепи и β – распада радикалов. В результате термической деструкции полимер распадается на летучие продукты (часто полностью), состав которых определяется соотношением скоростей элементарных реакций роста цепи.

При распаде полиметилметакрилата, а также поли- α – метилстирола, полиформальдегида и некоторых других полимеров практически единственным продуктом является мономер. Это означает, что термический распад этих полимеров осуществляется посредством деполимеризации – реакции, обратной полимеризации.

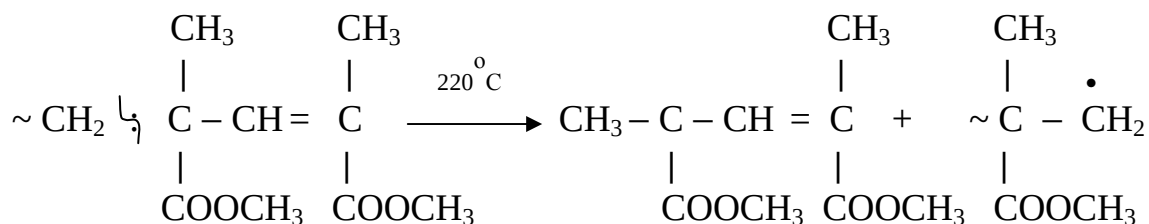
Деполимеризация карбоцепных полимеров протекает по радикальному механизму, а для гетероцепных полимеров более характерен ионный механизм (например, для полиформальдегида). Термодинамическими условиями деполимеризации являются $T > T_{\text{п}}$ или $[M] < [M]_{\text{равн}}$. Для большинства полимеров виниловых мономеров при $T > 200^{\circ}\text{C}$ равновесные концентрации мономеров не превышают $10^{-3} - 10^{-5}$ моль/л. Однако при высокой температуре мономер, образующийся в результате дополимеризации, быстро улетучивается, поэтому условие $[M] < [M]_{\text{равн}}$ обычно не выполняется.

Соблюдение термодинамических критериев является необходимым, но не достаточным условием деполимеризации. Для ее развития нужно, чтобы макрорадикалы с активным центром на конце цепи были достаточно устойчивые, а полимер не содержал подвижных атомов кислорода, обычно находящихся при третичных атомах углерода. Как известно, степень стабилизации активного центра на конце цепи можно качественно оценить по величине параметра Q . Следовательно, реакция деполимеризации будет преобладать при термическом распаде полимеров, содержащих четвертичные атомы углерода в основной цепи и полученных из мономера с высоким значением параметра Q .

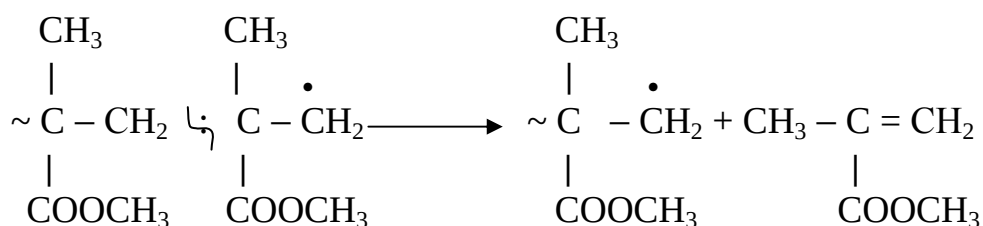
В качестве примера рассмотрим радикальную деполимеризацию полиметилметакрилата. При полимеризации метилметакрилата бимолекулярный обрыв радикалов осуществляется в результате диспропорционирования:



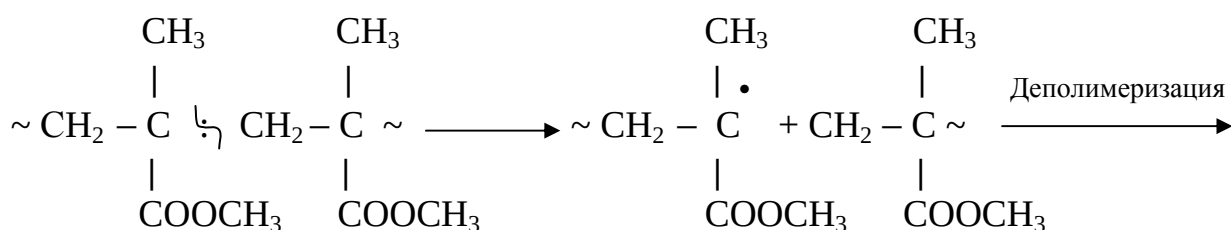
Поэтому около 50 % макромолекул содержат на конце ненасыщенные аллильные группы. Поскольку энергия аллильных связей заметно меньше энергии обычных одинарных связей (250 и 340 – 380 кДж/моль соответственно), при нагревании полиметилметакрилата до 220°C первыми распадаются аллильные связи:



Образующийся аллильный радикал участвует в реакциях обрыва и передачи цепи, а макрорадикал с активным центром на конце деполимеризуется:



По исчерпанию всех аллильных связей деполимеризация прекращается и полимер остается устойчивым вплоть до температур 270°C. Начиная с этой температуры, деполимеризация вновь инициируется, но уже за счет разрыва связей основной цепи по закону случая:



При 220°C < T < 270°C распадается от 5 до 50 % полимера в зависимости от молекулярной массы и способа получения, а при T > 270°C полиметилметакрилат распадается полностью.

Из рассмотренного механизма инициирования деполимеризации становится ясным, что один из путей повышения термической стойкости полимеров связан с использованием методов синтеза, предотвращающих образование различного рода слабых связей. Так, полиметилметакрилат, полученный методом анионной полимеризации, не содержит двойных связей и поэтому устойчив до 270°C.

Число молекул мономера, на которые распадается один макрорадикал, называется *длиной цепи деполимеризации*. Приближенное представление о ее величине можно получить из данных об изменении молекулярной массы полимера в процессе деполимеризации. Если длина цепи деполимеризации превышает число звеньев мономера в макромолекуле, то разрыв в любом месте приведет к ее полному разрыву. В этом случае молекулярная масса полимера в процессе деполимеризации изменяться не будет. Если степень полимеризации существенно превышает длину цепи деполимеризации, то макрорадикалы, образующиеся в результате разрыва цепей, не распадаются полностью и в полимере в процессе распада накапливаются относительно высокомолекулярные фракции. При этом деполимеризация сопровождается уменьшением средней молекулярной массы полимера.

Важную роль при термическом распаде полимеров играет реакция передачи цепи, о чем можно судить по следующим данным. Присутствие меньшего числа (10-15%) звеньев акриловых эфиров или акринитрила в сополимере с метилметакрилатом в несколько раз снижает скорость его термического распада по

сравнению с гомополимером (полиметилметакрилат). В продуктах термического распада полимеров акриловых эфиров мономер практически отсутствует. Это объясняется обрывом цепи деполимеризации в результате внутри- и межмолекулярной реакции передачи кинетической цепи на звенья акриловых мономеров, имеющие подвижные атомы водорода.

Значение реакции передачи цепи определяется также тем, что данная реакция приводит к переносу свободной валентности. Последовательность актов передачи цепи называется *химической эстафетой*.

Реакция β - распада срединных радикалов, образующихся в результате межмолекулярной передачи цепи, наряду с реакцией разрыва насыщенных углерод-углеродных связей основной цепи по закону случая приводит также к быстрому уменьшению молекулярной массы полиэтилена и других полимеров в процессе их термического распада.

При термическом распаде полиэтилена и полистирола образуется небольшое количество насыщенных и ненасыщенных углеводородов. Их образование может быть также представлено последовательностью актов внутримолекулярной передачи цепи и β - распада радикалов.

Некоторые полимеры (поливинилхлорид, поливинилацетат, поливиниловый спирт и др.) подвергаются термическому распаду.

Поливинилхлорид – один из наименее термически стойких полимеров. Его распад с заметной скоростью начинается со 150 °С. Продуктом термического распада являются хлороводород, а также на глубоких стадиях следы бензола.

Значительное каталитическое влияние на термический распад поливинилхлорида оказывает хлороводород, поэтому этот продукт следует связывать или удалять из системы, в противном случае кинетические кривые приобретают автокаталитический характер.

Механодеструкция

При действии больших механических напряжений как в твердом полимере, так и в растворе может происходить разрыв макромолекул. Механодеструкция является специфической реакцией для полимеров; она связана с цепным строением и относительно малой подвижностью их макромолекул и по своему механизму очень близка к термодеструкции. В обоих случаях химические процессы имеют цепную природу, они инициируются радикалами, образующимися при разрыве химической связи основной цепи. Для ряда полимеров установлено, что продукты и энергии активации термо- и механодеструкции практически одинаковые. Поэтому механодеструкцию полимеров можно рассматривать как термическую деструкцию, активированную механическим напряжением. Действие механических сил приводит к заметному уменьшению прочности химических связей.

В настоящее время доказано, что процессы механодеструкции и механического разрушения полимерных тел тесно связаны. При механическом воздействии полимерное тело испытывает деформации. Относительно небольшие деформации приводят лишь к изменению конформаций макромолекул, значительные деформации вызывают напряжения в химических связях и

деформацию валентных углов. Поскольку напряженные химические связи ослаблены, они легко разрываются. Образовавшиеся макрорадикалы инициируют реакции, в том числе образование срединных радикалов в результате реакции передачи цепи. Срединные радикалы также являются механически напряженными, поэтому они легко распадаются с генерированием концевых радикалов. Таким образом, в результате цепного распада по цепному механизму химических связей в напряженных областях полимера возникают микротрещины, которые, соединяясь, образуют макротрещину. Представления о ведущей роли механодеструкции при механическом разрушении полимеров дает современная теория механической прочности полимерных материалов.

Интенсивная механодеструкция происходит при механическом воздействии на растворы полимеров. При воздействии ультразвука на 1%-ный раствор полиметилметакрилат его молекулярная масса за один час уменьшается от 10^6 до 10^5 , т.е. на порядок. Перемешивание того же раствора в течение одного часа со скоростью 2000 об/мин приводит к уменьшению молекулярной массы полимера в 1,5 – 2 раза.

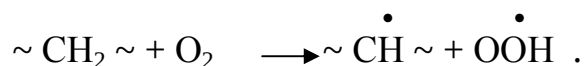
Химическая деструкция

Распространенным видом химической деструкции является гидролитическая деструкция, играющая большую роль в процессах переработки и усвоения продуктов питания живыми организмами. Гидролитическая деструкция вызывает разрыв связей основной цепи по закону случая, она катализируется ионами H^+ , OH^- . Этому виду деструкции подвержены гетероцепные полимеры – сложные полиэфиры, полиамиды (белки), полиацетиламинополисахариды. При разрыве цепи по закону случая, в противоположность деполимеризации, молекулярная масса полимера значительно изменяется.

Термо- и фотоокислительная деструкции

Большое практическое значение имеют термоокислительная и фотоокислительная деструкции. Первая может привести к быстрому разрушению полимера в процессе переработки или эксплуатации при повышенной температуре, вторая вызывает ухудшение его механических свойств при эксплуатации в условиях естественного освещения.

Термоокислительная деструкция – это цепной радикальный процесс, включающий стадии окисления и термического распада полимеров. Окисление полимеров, содержащих связи C – H, протекает аналогично цепному радикальному окислению углеводородов со стадиями инициирования, развития и обрыва кинетической цепи. Элементарным актом инициирования цепного процесса окисления является реакция



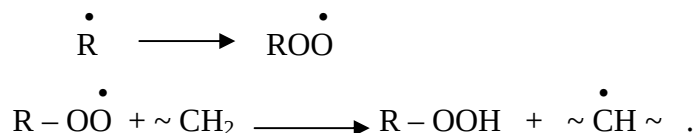
Она протекает с гораздо меньшей скоростью, поэтому имеет меньшее значение, чем реакция инициирования радикалами, образующимися в результате распада и превращения случайных примесей. К ним относятся, например, инициатор,

оставшийся в полимере после синтеза, окисленные фрагменты макромолекул, ионы переменной валентности катализатора, участвующие в окислительно-восстановительных реакциях.

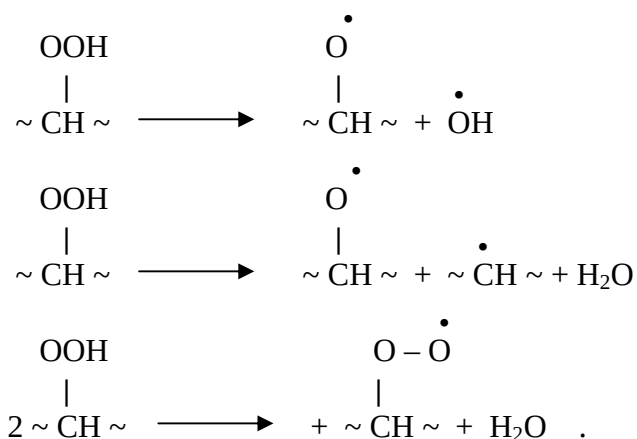
Реакция развития цепи заключается во взаимодействии алкильных радикалов с молекулой кислорода, что в конечном итоге приводит к образованию пероксидов:



При инициированном окислении процесс протекает следующим образом:



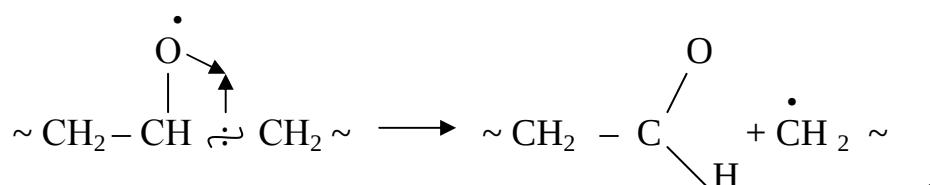
Обрыв кинетических цепей осуществляется в результате бимолекулярного взаимодействия радикалов путем рекомбинации или диспропорционирования. В этих реакциях могут участвовать как алкильные, так и алкоксильные радикалы, высоко- и низкомолекулярные. Цепное окисление полимеров можно рассматривать как эстафетное замещение свободной валентности, сопровождающееся поглощением кислорода и образованием гидропероксида. Вследствие миграции свободной валентности процесс окисления быстро захватывает весь объем образца полимера. Распад гидропероксидов, возникающих при окислении полимера, приводит к дополнительному образованию свободных радикалов и, следовательно, вырожденному разветвлению цепи. В результате скорость окисления увеличивается, т.е. процесс приобретает аутокаталитический характер. Распад гидропероксидов может проходить по-разному:



В полимере, содержащем подвижные атомы водорода, наиболее вероятна вторая реакция. Из-за относительно малой скорости диффузии в твердом полимере выход радикалов из клетки не превышает 10 %. По этой же причине реакция окисления полимеров часто протекает в диффузионном режиме, когда общая скорость процесса определяется не скоростью химического взаимодействия, а скоростью диффузии кислорода. Так, при окислении образца полипропилена толщиной 4 мм при 130°C в течение 70 мин поверхностный слой толщиной 0,3 мм

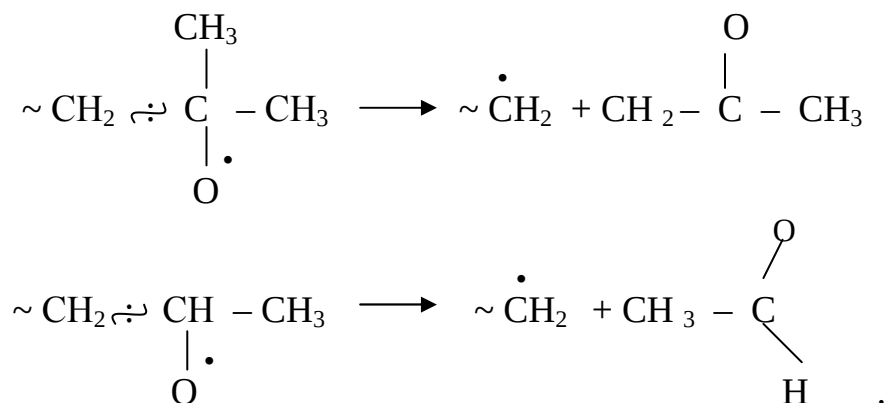
содержит до 90 % образовавшегося гидропероксида. Поскольку энергия активации химической реакции обычно больше, чем энергия активации диффузии, с повышением температуры быстрее растет скорость химического процесса. Поэтому диффузионный режим окисления более характерен для высокотемпературных процессов.

Окисление полимеров при высокой температуре сопровождается быстрым уменьшением их молекулярной массы. Разрыв цепей происходит из-за распада срединных алкоксильных радикалов, образующихся при разложении гидропероксидных групп:



В результате этой реакции образуются концевые алкильные радикалы, реакции которых наряду с реакциями срединных алкильных радикалов приводят к появлению продуктов, характерных для чисто термического распада полимеров, - мономера, насыщенных и ненасыщенных углеводородов. Специфическим продуктом окисления полимеров является вода, образующаяся в результате разложения гидропероксидных групп.

Реакции алкоксильных радикалов приводят к образованию незначительных количеств альдегидов и кетонов:



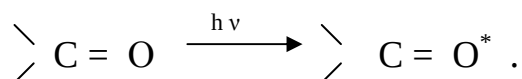
Как указывалось выше, быстрое старение полимера в естественных условиях происходит в результате фотоокислительной деструкции. Так, пленка полиэтилена, широко применяемая в настоящее время в сельском хозяйстве, теряет прочность и распадается за два сезона. Фотоокислительную деструкцию можно рассматривать как окислительную деструкцию, инициируемую радикалами, возникающими при воздействии ультрафиолетового излучения на полимер.

Фотохимические превращения происходят в полимере под действием ультрафиолетового ($400 > \lambda > 180$ нм) и видимого света ($700 > \lambda > 400$ нм), если полимер содержит химические связи или группы, поглощающие свет в этих областях спектра (так называемые хромофорные группы). При поглощении фотона

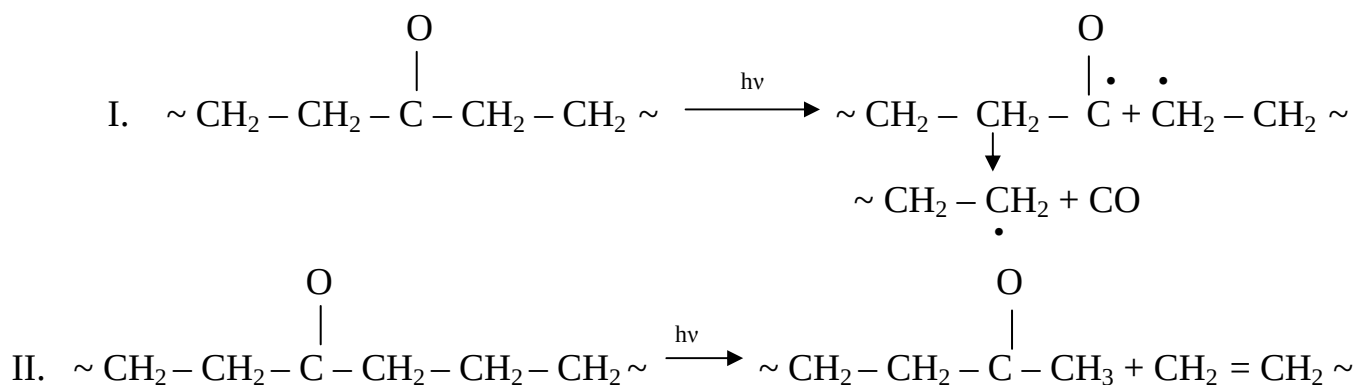
хромофорные группы переходят в возбужденное состояние, энергия их может превысить энергию диссоциации химической связи. В этом случае связь диссоциирует с образованием радикалов, которые вызывают вторичные, так называемые темновые фотохимические реакции распада, деполимеризации, изомеризации, передачи цепи и т.д. Следует иметь в виду, что возбужденные хромофорные группы могут дезактивироваться, поэтому квантовый выход (отношение числа квантов, вызвавших реакцию, к общему числу поглощенных квантов) обычно очень мал (порядка 10^{-4}).

Солнечный свет, достигший поверхности Земли, содержит ультрафиолетовый участок спектра с $\lambda > 270$ нм. Казалось бы, интенсивной фотодеструкции должны подвергаться лишь полимеры, содержащие в макромолекулах хромофорные группы, поглощающие свет в близкой области, – карбонильные ($\lambda = 279; 285$ нм), хроматические ($\lambda = 193; 260$ нм). Однако фотостарению под действием естественного освещения подвергаются практически все полимеры. Это обусловлено содержанием хромофорных групп в составе случайных примесей (пластификаторов, стабилизаторов) и в продуктах окисления полимера. Такие неконтролируемые хромофорные группы могут инициировать фотостарение полимера, выступая в качестве фотосенсибилизаторов или фотоинициаторов. Молекулы сенсибилизатора, поглотившие кванты света, передают энергию возбуждения макромолекулам, что приводит к диссоциации химических связей. Фотоинициатор под действием света распадается на радикалы, которые инициируют цепные реакции с участием макромолекул.

Первичные процессы в полимерах, проходящие под действием света, зависят от природы хромофорной группы. Как уже отмечалось, наиболее часто встречаются карбонильные и ароматические хромофорные группы. Карбонильные группы при облучении светом с длиной волны 270-330 нм легко переходят в возбужденное синглетное (антипараллельная ориентация спинов π - связи) и триплетное (параллельная ориентация спинов) состояния:

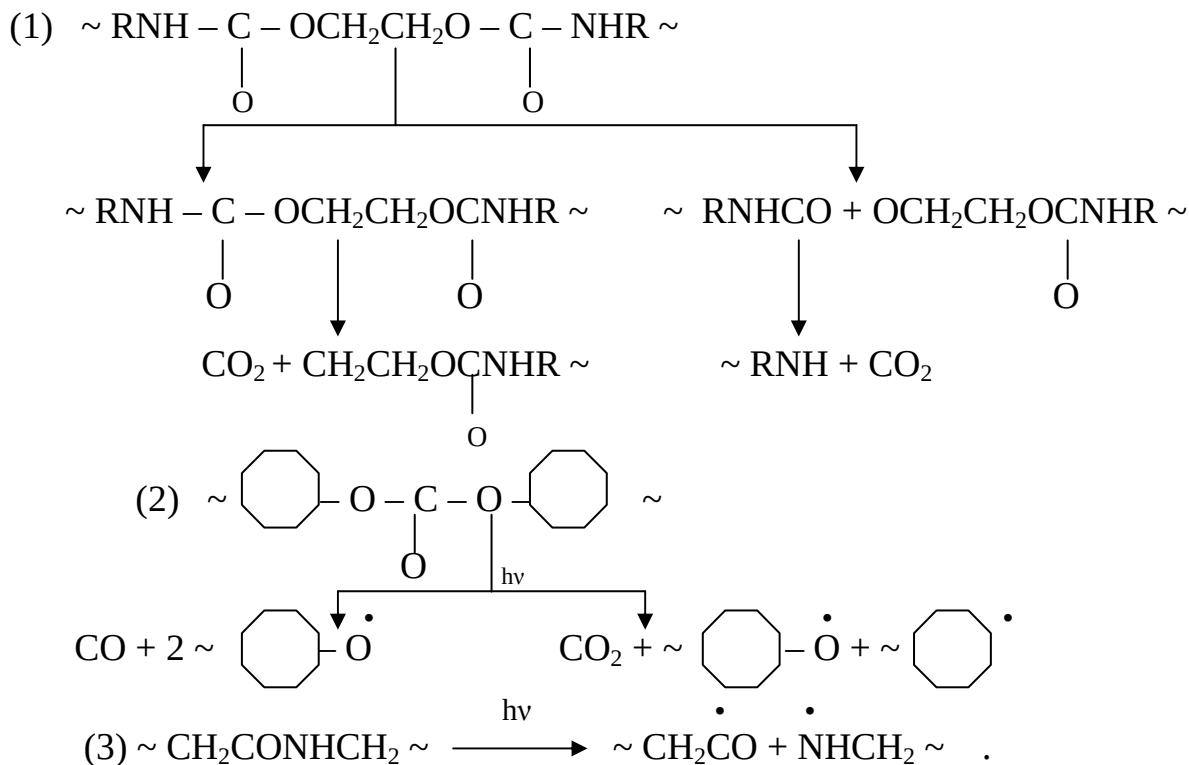


Далее идут процессы по механизму Норриша I или II типа. Ниже приведена схема реакций I и II типа полимера этилена с оксидом углерода:

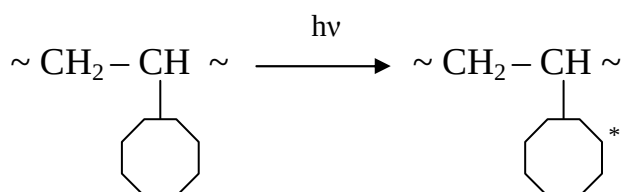


Как видно, реакция Норриша I типа протекает по радикальному, а реакция Норриша II типа – по скрыторадикальному механизму. Обе реакции приводят к разрыву цепи. Свободные радикалы, образующиеся в реакции I типа, могут вызвать дальнейшие превращения в полимере.

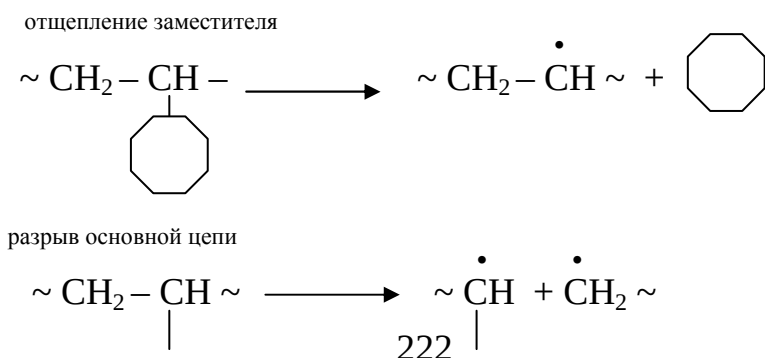
Реакция Норриша I типа играет важную роль при пиролизе полиуретанов (1), поликарбонатов (2), полиамидов (3):

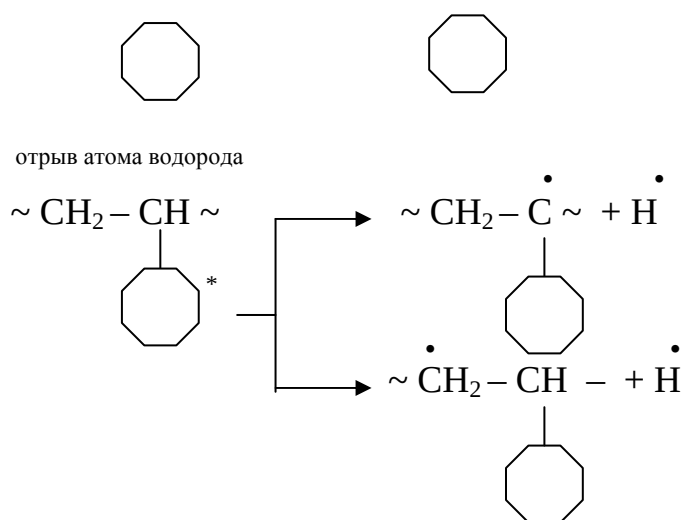


В качестве примера полимера, содержащего ароматические хромофорные группы, рассмотрим полистирол. Первичным актом фотодеструкции этого полимера является поглощение квантов света бензольными кольцами, что приводит их в возбужденное синглетное состояние:

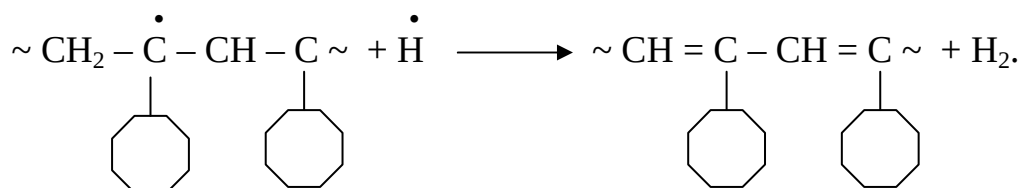


Из этого состояния бензольные кольца самопроизвольно переходят в возбужденное триплетное состояние, в котором реагируют по нескольким направлениям:

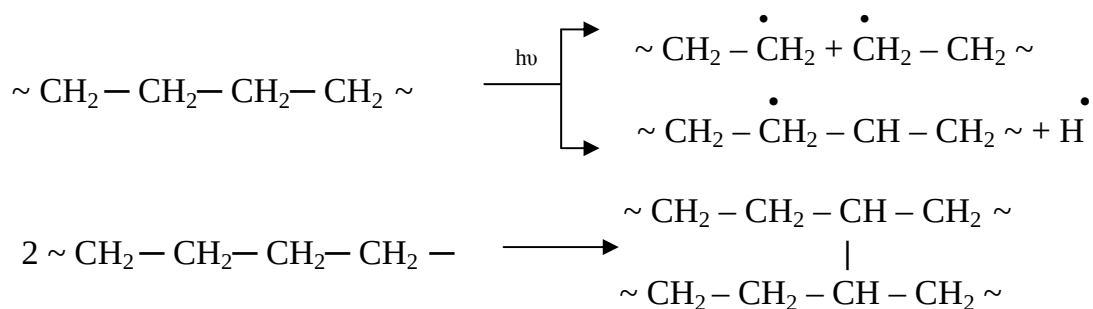




Образовавшиеся макрорадикалы могут участвовать в дальнейших превращениях: присоединять кислород, сшиваться, распадаться с разрывом цепи, претерпевать деполимеризацию. При фотодеструкции полистирола особое значение имеет реакция отщепления атомарного водорода. Рекомбинация последнего, а также отрыв им атома водорода от срединных радикалов полистирола приводят к образованию заметного количества молекулярного водорода. Последняя реакция приводит также к возникновению в цепи полимера последовательностей сопряженных связей, придающих окраску полимеру:

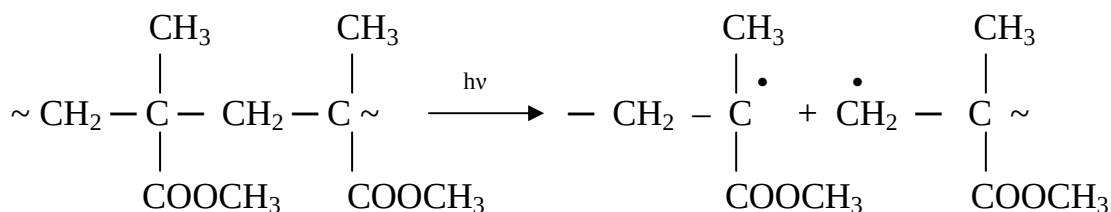


В тех случаях, когда полимеры не содержат хромофорных групп, поглощающих в такой же длинноволновой части ультрафиолетового спектра, как карбонильная или ароматическая, фотодеструкция вызывается хромофорными группами примесей или действием более жесткого (коротковолнового) ультрафиолетового излучения с $\lambda < 270$ нм. Так, при длительном облучении в вакууме полиэтилена коротковолновым ультрафиолетовым излучением наблюдается реакции, во многом аналогичные рассмотренным выше реакциям фотодеструкции полистирола – разрыва цепи, отрыва водорода, сшивания:

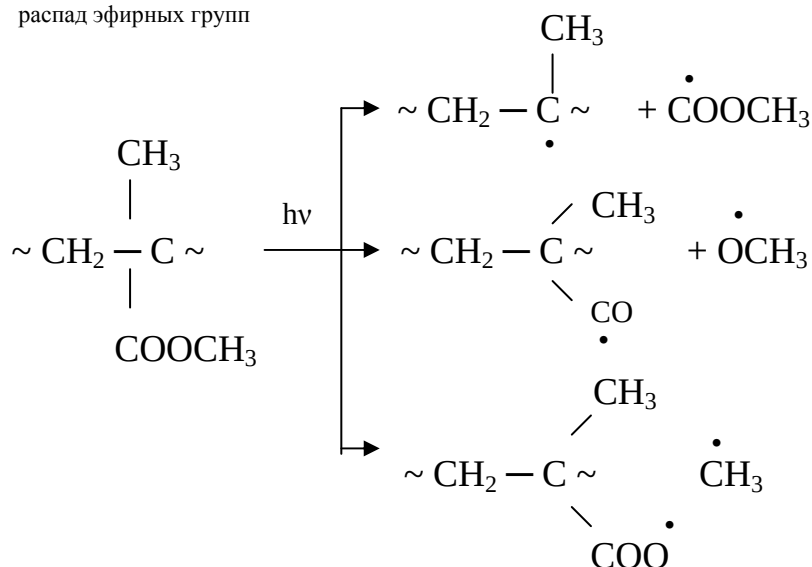


Фотолиз полиметилметакрилата протекает с заметной скоростью при облучении полимера ультрафиолетовым излучением с $\lambda \leq 250$ нм. Поглощение полимером квантов света вызывает одновременное протекание реакций трех типов:

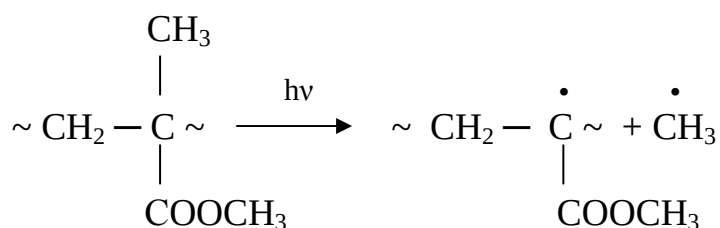
разрыв основной цепи по закону случая



распад эфирных групп



отщепление метильных заместителей



Из темновых реакций, вызываемых образовавшимися при фотолизе радикалами, наибольшее значение имеет деполимеризация. При комнатной температуре длина цепи деполимеризации незначительна и составляет пять-шесть мономерных звеньев на один разрыв цепи. С повышением температуры эта величина возрастает и при 160°C достигает 220 единиц.

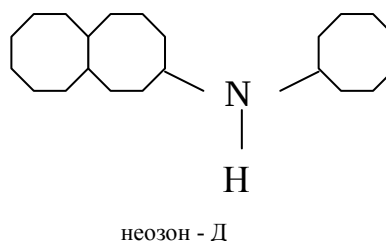
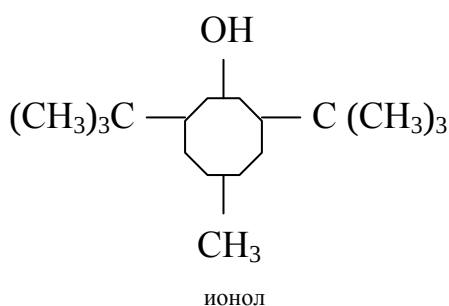
Фотодеструкция приводит к инициированию процессов окисления и, следовательно, к старению полимеров. С этой точки зрения данный процесс нежелателен. Ниже будут рассмотрены пути его предотвращения. В некоторых случаях фотодеструкция полимеров используется с определенными практическими целями. В качестве примера можно указать на разработку рецептур

саморазлагающихся полимерных упаковочных материалов, а также на использование фотохимических процессов сшивания и деструкции «фоточувствительных» полимеров при изготовлении электронных микросхем методом фотолитографии.

Стабилизация полимеров

Как известно, наиболее интенсивно процессы разрушения полимеров протекают в результате термо- и фотоокислительной деструкции. Поэтому главная задача стабилизации полимеров заключается в изыскании эффективных ингибиторов (стабилизаторов), предотвращающих эти реакции.

В качестве ингибиторов окисления (антиоксидантов) используют соединения, относящиеся к классу вторичных ароматических аминов, фенолов, бисфенолов, фенолсульфидов, содержащие подвижный атом водорода. Большое распространение, в частности, получили такие антиоксиданты, как ионол (2,6-дитрет-бутил-4-метилфенол) и неозон –Д (N-фенил-β-нафтиламин):



Молекулы ингибиторов (ИН) обрывают кинетические цепи окисления, реагируя преимущественно с пероксидными радикалами:



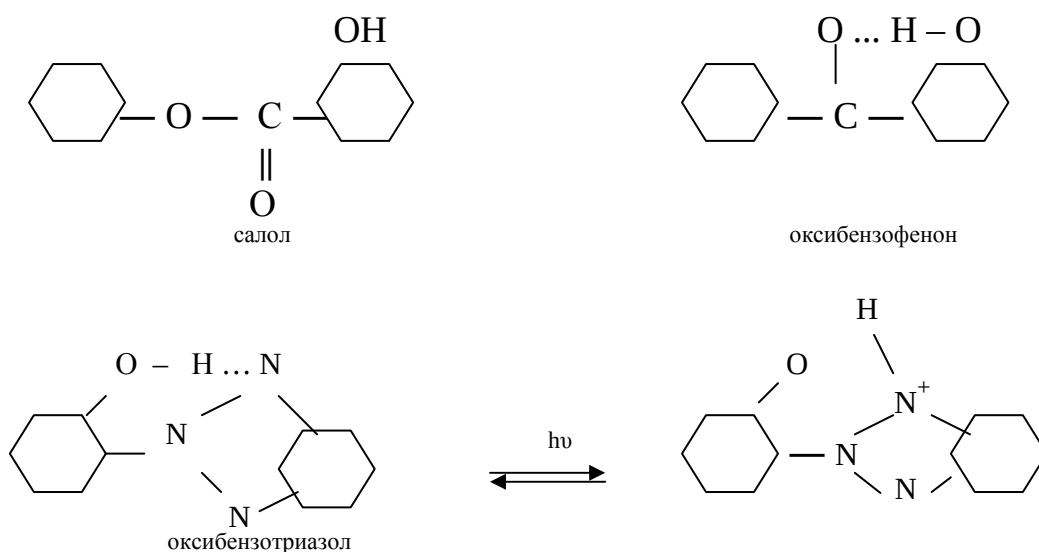
В результате образуются малореакционноспособные радикалы $\text{I}^\bullet$, участвующие в основном в реакциях бимолекулярного обрыва. Для предотвращения зарождения новых цепей и вырожденного разветвления в полимер вводят сульфиды или фосфиты – вещества, взаимодействующие с гидропероксидами без генерирования радикалов. При совместном использовании таких веществ с антиоксидантами эффект увеличивается, а такие смеси называют *синергическими*. Введение в полимер антиоксидантов делает его устойчивым к комбинированному воздействию теплоты и кислорода воздуха в течение определенного времени, называемого индукционным периодом. Особенно необходима стабилизация каучуков и резин, поскольку макромолекулы этих полимеров содержат ненасыщенные связи, легко окисляющиеся уже при комнатной температуре.

В качестве фотостабилизаторов применяют неорганические и органические соединения, отражающие или поглощающие ультрафиолетовое излучение. К первым относятся неорганические пигменты, в первую очередь оксиды различных металлов. Так, оксид цинка является очень эффективным и экономически

выгодным фотостабилизатором для светового излучения с длиной волны от 240 до 380 нм.

Соединения, поглощающие ультрафиолетовое излучение, называются УФ – абсорбентами. Эффективно поглощает ультрафиолетовый и видимый свет сажа, однако ее применение ограничено, так как она окрашивает полимер в черный цвет.

Органическими светостабилизаторами, нашедшими широкое техническое применение, являются салицилаты. Наиболее известный из них – фенилсалицилат (салол), который широко применяется и в настоящее время. Введение 1% салицилатов в ацетилцеллюлозные и полиэтиленовые пленки увеличивает срок их службы в условиях облучения солнечным светом от нескольких месяцев до нескольких лет. Большое распространение в качестве фотостабилизаторов получили *o*-оксибензофеноны и оксибензотриазолы:



Для молекул этих соединений характерно образование внутри- и межмолекулярных водородных связей. При поглощении света молекулы *o*-оксибензофенона и *o*-оксибензотриазола переходят в возбужденное таутомерное состояние. Быстрая таутометрия основного и возбужденного состояний способствует дезактивации молекул фотостабилизатора и препятствуют ее разрушению.

Функции фотостабилизаторов не ограничиваются поглощением ультрафиолетового света. В настоящее время установлено, что молекулы фотостабилизаторов с развитой системой сопряжения, в частности *o*-оксибензофеноны и *o*-оксибензотриазолы, принимают энергию возбуждения от макромолекулы, поглотившей квант света, и тем самым предохраняют ее от разрушения.

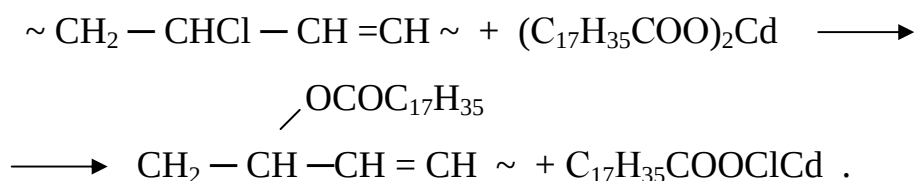
Возможности термической стабилизации полимеров ограничены, так как в температурном интервале 250 – 300°C распадаются не только полимеры, но и стабилизаторы. В этом отношении исключением является поливинилхлорид. Из-за чрезмерно малой термической стойкости и окрашивания на самой ранней стадии распада переработка и эксплуатация этого полимера без стабилизатора невозможна. Стабилизаторы поливинилхлорида должны удовлетворять

следующим требованиям: связывать хлороводород, который катализирует процесс дегидрохлорирования, замещать аномально подвижные атомы хлора в основной цепи, разрушать полиеновые последовательности, вызывающие окраску полимера.

Наиболее широкое распространение в качестве стабилизаторов поливинилхлорида получили карбоксилаты координационно ненасыщенных металлов, в частности синергическая смесь стеаратов бария и кадмия. Стеарат бария и карбоксилаты некоторых других металлов (свинца, кальция) связывают хлороводород:



Стеариновая кислота слабее соляной, поэтому не ускоряет реакцию дегидрохлорирования. Подвижные атомы хлора в основной цепи замещаются на кислотный остаток также в результате обменной реакции, но уже со стеаратом кадмия:



Аналогичным образом, связывая HCl и замещая подвижные атомы хлора в цепи, действуют в качестве стабилизаторов смешанные оловоорганические соединения общей формулы R_2SnX_2 , где R – алкил, X – галоген.

Для нарушения полиеновых последовательностей широко применяются диенофильные соединения – эфиры малеиновой и фумаровой кислот, малеиновый ангидрид, мальимид, малеаты кальция, бария, свинца. Диенофилы реагируют с полиеновыми последовательностями деструктированного поливинилхлорида по реакции Дильса – Альдера.

3.3.3. Особенности влияния среды на полигонах ТБО

Состав отходов, поступающих на полигон твердых бытовых отходов, изменяется по мере изменения уровня жизни населения и сильно отличается по сезонам года. Основной состав ТБО – бумага, картон, древесные и пищевые отходы, металл (черный и цветной), текстиль, кости, стекло, кожа, резина, пластмассы и др. Органические вещества (бумага, древесные и пищевые отходы, пластмасса, текстиль) могут содержаться в пределах 50 – 80%, влажность общей массы составляет 35 – 70 %. Состав органической компоненты ежегодно изменяется: уменьшается содержание бумажных упаковочных материалов и увеличиваются отходы полимерной тары и упаковки пришедших в негодность или морально устаревших изделий из пластмасс бытового назначения. Если в начале 80-х годов отходы пластмасс составляли не более 2%, в начале 90-х годов – на уровне 3-4%, то в 2000 г. их содержание возросло до 8 – 15%. На полигонах ТБО больших городов содержание полимерных отходов выше, чем в малых городах.

Твердые бытовые отходы на полигоне обладают механической (структурной) связностью за счет волокнистых фракций (текстиль, проволока и

др.) и сцепления, обусловленного наличием влажных липких компонентов, поэтому они склонны к сводообразованию. ТБО отличаются также слеживаемостью, т.е. при длительной неподвижности теряют сыпучесть и уплотняются с выделением фильтрата без дополнительных внешних воздействий.

В свежеложенных слоях ТБО полимерные отходы в дождливую погоду перемещаются на поверхность. Причина этого заключается в том, что полимеры практически не поглощают влагу и плохо смачиваются водой, в то время как пищевые отходы, грунт и др. насыщаются водой, при дождливой погоде их плотность становится выше, они опускаются, скользя по поверхности пластмассовых отходов вниз. На отходы из полиолефинов (полиэтилен, полипропилен), плотность которых ниже плотности воды, дополнительно действует выталкивающая сила, определяемая разностью плотности полимера и окружающей среды. В результате полимерные отходы оказываются на поверхности полигона и открыты для солнечной радиации до формирования нового слоя отходов или грунта пересыпки.

Уплотненные слои твердых бытовых отходов представляют собой своеобразные «локальные химические реакторы», в которых протекают процессы химического и биохимического разложения и минерализации органической составляющей (прежде всего растительных материалов и пищевых отходов) с выделением тепла и газообразных продуктов. Температура в таких «локальных реакторах» может достигать 200 – 250⁰С. При таких температурах в полимерных материалах довольно интенсивно протекают процессы термодеструкции. Газообразные продукты разложения растительных материалов и полимеров, поднимаясь на поверхность полигона, способны самовозгораться на свету и в темноте. В зонах горения на поверхности полигона полимерные отходы выгорают, однако на глубине 30 – 50 см температура значительно ниже и горение замедляется.

Содержащиеся в составе ТБО растительные масла и животные жиры представляют собой глицериды различного состава и строения. Глицериды непредельных кислот способны окисляться на воздухе при обычной температуре с образованием реакционно-способного атомарного кислорода. Последний вступает в химическую реакцию с полимерными макромолекулами и окисляет их, образуя – *C-O-N* или –*C-O-C*- связи, причем атомы углерода могут принадлежать различным макромолекулам, т.е. происходит сшивка макромолекул с образованием пространственной структуры.

Разнообразный химический состав отходов и продуктов их разложения не исключает образования химических соединений – катализаторов с участием металлов переменной валентности, которые активизируют деструкцию полимерных макромолекул при более низкой температуре.

Влажность содержимого полигона довольно высокая. Пробные раскопки Белгородского полигона показывают, что на глубине 30 – 40 см содержимое полигона представляет собой вязкую, липкую сплошную среду, переплетенную ветками, текстильными отходами и т.п. Так как поступление кислорода воздуха в эти слои ограничено, гидролитическая деструкция (гидролиз) полимеров является преобладающей. Глубина деструкции и ее механизм зависят от структуры поли-

мера, а также от скорости диффузии воды и других катализаторов реакции – щелочей, кислот и микроорганизмов. Следует также иметь в виду, что карбоксильные группы, образующиеся в процессе гидролиза, в дальнейшем сами способствуют ускорению процесса деструкции, т.е. наблюдается автокаталитический эффект.

Карбоксильные группы способствуют росту микроорганизмов в полимере, которые, в свою очередь, ускоряют гидролитическое разложение макромолекулы.

Особой жизнеспособностью обладают микроскопические грибы, которые практически любое углеродсодержащее соединение могут использовать в качестве источника питания. Развиваясь на поверхности изделий из полимерных материалов, грибы синтезируют различные метаболиты: свободные аминокислоты, органические кислоты, ферменты, а также всевозможные недоокисленные продукты обмена. Органические кислоты, интенсивно образуемые грибами при повышенной (до 70°C) температуре и влажности, а также при недостатке кислорода, играют двойную роль: действуют на пластмассы как агрессивные среды и являются источниками углерода для дальнейшего развития грибов.

Рост микроорганизмов возможен также в полимерах, содержащих в основной цепи гидролитический азот, например, в полиуретанах. Биодеструктивным действием в полимерах обладают также группы $-OH$ и $-CHO$.

Общепризнано, что биологическое разрушение пластмасс связано в основном с разрушением добавок, а не собственно полимера. Низкомолекулярные добавки – смазки, пластификаторы, антиоксиданты, светостабилизаторы и т.д. могут мигрировать к поверхности изделия из пластмассы и способствовать росту микроорганизмов. В этом случае ухудшение свойств пластмасс можно объяснить потерей добавок в результате микробиологических процессов.

Микроорганизмы развиваются на пластмассах со скоростью, обратно пропорциональной их молекулярной массе, следовательно, химические и физические процессы деструкции, приводящие к образованию низкомолекулярных фракций полимеров, поддерживают рост микроорганизмов.

Процессы деструкции полимерных материалов в условиях полигонов твердых бытовых отходов мало изучены, но следует ожидать, что их интенсивность заметно выше, чем в лабораторных и естественных условиях. В то же время продукты деструкции полимерных материалов служат основой для образования в условиях полигона ТБО целого ряда новых химических соединений, в том числе ядовитых. В частности, образуются ядовитые соединения меди, так как отходы последней легко вступают во взаимодействие с галогенами, серой, образуют комплексные соединения с аммиаком, цианидами. Окислы углерода, вступая в реакцию с хлором при 125 – 150 °C, образуют фосген (типичный представитель отравляющих веществ удушливого действия). Сера, которая выделяется при деструкции вулканизированного каучука, образует с водородом и окисью углерода соответственно ядовитые сероводород и сероокись углерода.

Характеристика многотоннажных полимеров и процессов их деструкции

ПОЛИЭТИЛЕН. Полиэтилен $(-CH_2 - CH_2 -)_n$ получают полимеризацией этилена в массе по свободно-радикальному механизму при высоком давлении (150 – 350МПа) и по ионно-координационному механизму при низком давлении (2 - 4МПа) в суспензии, растворе или газовой среде. Полиэтилен можно рассматривать как парафин с очень длинными цепями.

До 1973 г. полиэтилены разделяли по методу получения на полиэтилен высокого давления (ПЭВД), при этом считалось, что он обладает низкой плотностью (0,92 – 0,93г/куб.см), и полиэтилен низкого давления (ПЭНД), который имеет высокую плотность (0,94 – 0,96г/куб.см). В настоящее время, используя сополимеризацию и применяя новые эффективные катализаторы, получают полимеры с довольно широким диапазоном плотности (0,89 – 0,97 г/куб.см) как при высоком, так и при низком давлении. Граница по плотности для синтеза при высоком и низком давлении уже не существует, и полиэтилены различают по плотности (ПЭНП, ПЭВП, ПЭСП).

Промежуточное положение между полиэтиленами низкой и высокой плотности занимает полиэтилен средней плотности, получаемый полимеризацией при давлении 30-40МПа и температуре 120-150 °С с использованием в качестве катализаторов оксидов металлов переменной валентности. Началом новой эры в истории полиэтилена в 90-х годах стало применение металлоценовых катализаторов, изменяя состав и структуру которых, можно получать полимерные молекулы определенной структуры и свойств.

На сегодняшний день наиболее широко применяется следующая классификация типов полиэтилена:

LDPE – полиэтилен низкой плотности (ПЭНП);

MDPE – полиэтилен средней плотности (ПЭСП);

HDPE – полиэтилен высокой плотности (ПЭВП);

HDPE-НМ - полиэтилен высокой плотности высокомолекулярный;

LLDPE – линейный полиэтилен низкой плотности;

VLDPE –полиэтилен ультранизкой плотности;

mLLDPE - металлоценовый линейный полиэтилен низкой плотности.

Области использования полиэтилена

Химическая промышленность	- листы и плиты для футеровки аппаратов и резервуаров, трубы и фитинги, сосуды и бутылки для реактивов, дезинфицирующих и моющих средств;
Строительство	- трубы в системах водоснабжения и канализации, сифоны, ванны, бочки, фильтры;
Сельское хозяйство	- пленочные покрытия хранилищ и парников, мешки для удобрений, трубы для орошения;
Машиностроение	- детали вентиляторов, насосов и гидромашин, кожухи, корпуса, крышки, изоляция для проводов и кабелей и др.;
Товары народного потребления	- тара и упаковка, корзины, вешалки, ведра, детали сантехнического оборудования, бочки,

канистры и др.

Органолептические свойства. Изделия из полиэтилена могут быть окрашены в разные цвета или неокрашены, могут иметь перламутровый оттенок.

Изделия упругие, гибкие (эластичные) из ПЭНП и твердые из ПЭВП, жирные на ощупь (напоминают парафин), мягко режутся ножом, остается след от вдавливания твердым предметом. Пленка и пленочные изделия хорошо растягиваются. Изделия легче воды (плотность 0,89 – 0,97 г/куб.см). Температура плавления ПЭНП 108 – 110 °С, ПЭВП – около 125 °С.

При внесении в пламя изделие из полиэтилена сразу загорается, при удалении из пламени продолжает медленно гореть, без копоти, плавится, стекая каплями. Пламя спокойное, цвет пламени желтый с белой верхушкой, у основания – голубая кайма.

Особенности деструкции. При комнатной температуре в отсутствие света полиэтилен проявляет высокую стойкость к действию кислорода воздуха. Так, в пленках, хранившихся в течение 15 лет при комнатной температуре в темноте, окисление практически не наблюдалось, не происходило при этом и снижение механических свойств. С повышением температуры скорость окисления возрастает. При температуре 100 °С окисление пленок наблюдается уже через несколько десятков часов. Еще быстрее протекает окисление при солнечном свете.

В отсутствие кислорода полиэтилен стабилен до 290°С, однако с увеличением его разветвленности начало термической деструкции сдвигается в сторону более низких температур на 20 – 30 °С. Выше этих температур полимер разлагается с образованием воскоподобных продуктов меньшей молекулярной массы и летучих.

Действие ионизирующих излучений приводит к окислению полиэтилена в присутствии кислорода. При всех видах внешнего воздействия (тепло, свет, ионизирующее излучение) в присутствии кислорода происходит образование кислородсодержащих групп: -C=O-, -O-H, -O-O-H, -O-O-C-, причем группы C=O образуются разных типов: кислотные, кетонные, альдегидные, сложноэфирные и др. Отмечается возрастание содержания двойных связей -C=C-, что сказывается на цвете изделия (оно желтеет).

При ионизирующем излучении одновременно протекают процессы деструкции, приводящие к уменьшению молекулярной массы полимера, и процессы структурирования, сшивания макромолекул с образованием трехмерной сетки (гель-фракции - неплавких и нерастворимых частиц). Кинетика процесса деструкции – сшивания сложная и достаточно не изучена, но экспериментально установлено, что у полиэтилена процесс сшивания преобладает.

Галогены, как газообразные, так и жидкие, оказывают на полиэтилен значительное действие. Хлор и фтор вызывают значительное набухание и падение его прочности. Бром и иод поглощаются полиэтиленом, замещая водород в макромолекулах, при этом происходит снижение механических характеристик. Действие на полиэтилен органических жидкостей во многом зависит от температуры. При комнатной температуре он в течение длительного времени не растворяется в большинстве органических растворителей. Происходит его

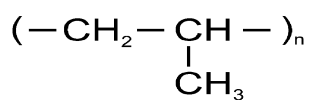
диффузия и постепенное набухание. Степень набухания увеличивается с повышением температуры. При температуре выше 60°C полиэтилен растворим в ряде органических жидкостей, в первую очередь в галогенуглеводородах.

На изделиях из полиэтилена во влажной среде при температуре 30°C развиваются в основном мицелиальные грибы (пенициллы, аспергиллы), при 45°C – грибы и споровые бактерии, а при 55°C – только бактерии. Полиэтилен используется сульфатредуцирующими бактериями как источник углерода. Окисленный полиэтилен частично утилизируется термофильными актиномицетами и микроскопическими грибами, производя оксикислоты: лимонную, винную, молочную и др.

Происходящие в результате внешних воздействий изменения в полиэтилене приводят к ухудшению его физико-механических и диэлектрических свойств. Постепенно теряется эластичность, снижаются относительное удлинение и прочность при разрыве, растут диэлектрические потери, уменьшается электрическое сопротивление, снижается стойкость к агрессивным средам.

Исследования по утилизации полимерных материалов в различных странах и в разное время показывают, что отходы полиэтилена даже при достаточно высокой степени деструкции, когда гель-фракция составляет более 60% массы отходов, могут быть повторно использованы в качестве сырья для производства полезной продукции. Из отходов с небольшой степенью деструкции после компенсации израсходованных стабилизаторов и др. добавок или введения новых модифицирующих ингредиентов (в зависимости от технических требований к материалу изделия) возможно получение вторичного полимерного материала, пригодного для переработки в изделия технического назначения на стандартном технологическом оборудовании. Из полиэтиленовых отходов, которые частично потеряли текучесть, можно получать композиционные материалы, пригодные для производства продукции методами экструзии или прессования. Полиэтиленовые отходы, которые практически полностью утратили текучесть (например, состаренная хрупкая пленка тепличных хозяйств), могут быть использованы для производства пенопластов и упаковочных изделий из вспененного полиэтилена прессовым методом, причем эта продукция может быть более высокого качества, чем из кондиционного сырья.

ПОЛИПРОПИЛЕН – термопластичный линейный полимер класса полиолефинов общей формулы



Получают каталитической полимеризацией из пропилена. В качестве катализаторов используют соединения переходных металлов и металлоорганические соединения. Полипропилен (ПП) может существовать в трех различных пространственных конфигурациях (в зависимости от положения группы $-\text{CH}_3$ в полимерной цепи): изотактический, синдиотактический и атактический. Практический интерес как конструкционный материал представляет

изотактический полипропилен, который в промышленном масштабе начали производить с 1957 г. Изотактический полипропилен в настоящее время получают только на гетерогенных каталитических системах, в которых металлы находятся в нерастворимой форме, а металлоорганическое соединение растворимо в углеводородной среде.

Основные свойства полипропилена:

Молекулярная масса	80000 – 200000
Плотность, г/куб.см	0,89 – 0,91
Температура плавления, °С	165 – 170
Предел прочности при растяжении, МН/кв.м	26 – 33
Относительное удлинение при разрыве, %	300 – 600
Температура переработки, °С	200 – 300

Основные области применения полипропилена:

Строительство	- напорные трубы, фланцы, водонапорная и выпускная аппаратура, гидроизолирующая пленка;
Машиностроение	- зубчатые и червячные колеса, ролики, подшипники скольжения, детали арматуры, фильтры масляных и воздушных систем, детали вентиляторов, насосов, гидромашин;
Радио- и электротехническая промышленность	- корпуса и детали телевизоров, магнитофонов, панели приборов, детали светильников и др.;
Текстильная промышленность	- волокно, фильтровальные ткани, ремни, канаты.
Товары народного потребления	- гребни, подставки, корпуса термосов, футляры, каблуки для обуви, тара и упаковка.

Органолептические свойства. Изделия из полипропилена окрашены в различные цвета или неокрашены. Пленки и пленочные изделия прозрачные. Изделия твердые, упругие, жирные на ощупь, режутся ножом, остается след от вдавливания твердым предметом. Пленка и пленочные изделия упругие, растягиваются слабо.

Поведение в пламени такое же как, и у полиэтилена. При внесении в пламя он загорается, при вынесении из пламени продолжает гореть медленно, без копоти, плавится, стекая каплями. Пламя спокойное, цвет пламени желтый с белой верхушкой, у основания – голубая кайма. Запах горящего парафина.

Особенности деструкции. По химической стойкости полипропилен близок к полиэтилену: при комнатной температуре устойчив ко всем органическим растворителям. По теплофизическим свойствам он превосходит полиэтилен:

устойчив до температуры 120 – 140 °С, однако проигрывает по морозостойкости: ниже – 5 °С становится хрупким.

С химической точки зрения углерод-углеродные связи в полипропилене менее прочные, чем у полиэтилена, так как каждый второй углеродный атом в его основной цепи – третичный и водород при нем отличается повышенной реакционной способностью. Поэтому получаемый в процессе полимеризации порошкообразный полипропилен не пригоден для переработки в изделия – в него сразу вводят стабилизаторы.

Скорость поглощения кислорода полипропиленом при 150 °С почти в 12 раз выше, чем полиэтиленом. Первичным продуктом окисления ПП являются гидроперекиси, а скорость окислительной деструкции пропорциональна их концентрации. Окисление сопровождается снижением молекулярной массы и, как следствие, ухудшением механических показателей. При интенсивной окислительной деструкции ПП становится хрупким и не выдерживает даже небольших механических нагрузок, при этом его цвет изменяется. Чем глубже процесс окисления, тем более интенсивную бурую окраску принимает этот полимер.

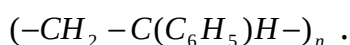
Полипропилен не поглощает света во всей ультрафиолетовой части солнечного спектра, а фотохимическая деструкция начинается после его частичного окисления. Так как в процессе переработки полипропилена происходит частичная деструкция, изделия из полипропилена чувствительны к УФ-излучению, а поглощенный свет ускоряет его окисление.

Для торможения процесса окисления полипропилена используют стабилизаторы аминного характера и стабилизаторы на основе фенолов. Антиоксиданты фенольного типа, в состав которых входят не менее трех фенольных радикалов, более эффективные. Разработаны и применяются соединения, содержащие три, четыре и более активных звеньев, такие как полифенолы и силанофенолы.

Используя антиоксиданты, удастся продолжительность периода индукции полипропилена при температуре 130°С довести до 150 – 170 суток, причем при температуре 180°С этот период составляет не более 18 часов, а при 270°С антиоксиданты не действуют, т.е. период индукции практически равен нулю. Период индукции при окислении полипропилена сильно зависит от содержания остатка катализаторов, так как металлы (соединения титана) оказывают каталитическое действие на реакцию окислительной деструкции углеводов.

В твердом окисленном полипропилене обнаружены гидроксильные и карбонильные группы, принадлежащие альдегидам, кетонам и кислотам. В легколетучих продуктах окисления ПП были идентифицированы формальдегид, вода, муравьиная и уксусная кислота, окись и двуокись углерода.

ПОЛИСТИРОЛ и его сополимеры. Полистирол – термопластичный аморфный полимер с формулой



Исходным сырьем для производства полистирола является стирол. В промышленности полистирол получают радикальной полимеризацией, главным

образом в массе по непрерывной схеме и в суспензии по периодической схеме, в небольших количествах – в эмульсии.

Широкое применение полистирола и пластиков на его основе базируется на огромном ассортименте этого продукта. Производят полистирол общего назначения, представляющий собой продукт полимеризации стирола блочным методом: марки ПСМД – для электроизоляционных изделий и продукции технического назначения, марки ПСМ – для продукции технического назначения и товаров народного потребления; эмульсионным методом: марки ПСЭ-1 – для получения пенопластов, марки ПСЭ-2 – продукции технического назначения и товаров народного потребления; суспензионным методом: марки ПСС и ПССП (пластифицированный) – для продукции технического назначения и товаров народного потребления.

Широкое промышленное значение (более 60% производства полистирольных пластиков) имеют ударопрочные полистиролы, представляющие собой сополимеры стирола с бутадиеновым и бутадиен-стирольным каучуком: марки УПМ получают блочной привитой сополимеризацией, марки УПС – блочно-суспензионной полимеризацией и УПК – механо-химическим способом, а также АБС-пластики, которые содержат 5-35% акрилонитрила, 10-40% бутадиена и 25-80% стирола. АБС-пластики имеют более высокую механическую прочность, тепло- и химическую стойкость, большую ударную вязкость.

В настоящее время созданы многочисленные модификации сополимеров стирола. Замена стирола на винилтолуол при синтезе ударопрочного полистирола приводит к получению теплостойкого ударопрочного поливинилтолуола, замена акрилонитрила на метилметакрилат в АБС-пластиках позволяет получать прозрачные пластики с хорошим комплексом механических свойств. Большое распространение получают атмосферостойкие трехкомпонентные пластики, известные под общей маркой АСА, при синтезе которых бутадиеновый каучук заменяется на каучук акрилового типа. Разработан ряд ударопрочных материалов, включающих четыре и более компонентов, однако их удельный вес сравнительно невелик. Для изготовления продукции из пенополистирола в полимер вводят пенообразователи.

Молекулярная масса промышленных марок ПС зависит от способа его получения и колеблется в интервале 50000 – 300000, эмульсионного полистирола – до 6000000. Сложный состав ударопрочных полистиролов и АБС-пластиков затрудняет их анализ и только специальные методы позволяют получить представление об их строении, поэтому на полигоне ТБО достаточно отделять отходы полистирола общего назначения, ударопрочного и вспененного.

Основные свойства

	Полистирол общего назначения	Ударопрочный полистирол	АБС- пластики
Плотность, г/куб.см	1,05-1,06	1,05-1,07	1,03

Разрушающее напряжение при разрыве, МПа	40-45	20-30	55-60
Относительное удлинение при разрыве, %	1 – 2	15 – 40	20 – 25
Твердость по Бринеллю, кгс/мм	14 - 20	10 – 30	12
Показатель текучести расплава, г/10мин	1 – 8	2 – 12	

Основные области использования

Полистирол общего назначения	Приборостроение	- кассеты магнитофонные, крышки, камеры приборов, кожухи, корпуса;
	Строительство	- облицовочная плитка;
	Радио- и электро-промышленность	- высокочастотные диэлектрики, декоративная отделка, стекла приборов, корпуса, шкалы;
	Оптика	- волоконная оптика, детали светильников;
Ударопрочный полистирол	Товары народного потребления	- пуговицы, емкости, вазы, подносы, шкатулки, игрушки, посуда, упаковка;
	Товары народного потребления	- упаковка, тара, футляры, детали холодильников, бытовых приборов, авторучки;
	Автомобилестроение	- детали кузовов, багажников, капотов;
	Радио- и электро-промышленность	- платы, выключатели, розетки, панели, корпуса громкоговорителей, приемников, детали телевизоров;
Вспенивающийся полистирол	Строительство	- тепло- и звукоизоляционные плиты для промышленных и бытовых установок;
	Судостроение	- плавучий инвентарь;
	Приборостроение	- упаковка точных инструментов, приборов.

Органолептические свойства. Полистирол представляет собой твердый продукт плотностью немного выше воды. При комнатной температуре безвреден, для контакта с пищевыми продуктами допускаются материал, содержащий не более 0,1% мономера, для детских игрушек – не более 0,01% мономера.

Изделия из блочного полистирола твердые, могут быть хрупкими, при падении на твердую подставку издают металлический звук. Изделия из ударопрочного полистирола менее твердые (можно снять стружку ножом), при падении не звенят. Пленки жесткие прозрачные, при сминании издают металлический звук.

Полистирол не взрывоопасен. При внесении в пламя загорается и горит коптящим пламенем со специфическим сладковатым запахом паров стирола. Пламя ярко-желтое. При вынесении из пламени продолжает гореть.

Предельно допустимая концентрация паров стирола в производственных помещениях (ПДК) равна 5мг/куб.м. Пары стирола выше ПДК вызывают раздражение слизистых оболочек глаз, носа, гортани, нарушение функций центральной нервной системы и печени, оказывают влияние на кроветворные органы.

Особенности деструкции. Полистирол обладает меньшей устойчивостью к действию химических реактивов и растворителей, чем полиолефины. Он стоек к действию щелочей, серной, соляной и фосфорной кислот, однако набухает или растворяется во многих органических соединениях. В частности, он хорошо растворяется в сложных эфирах (бутилацетат), ароматических углеводородах (толуол, ксилол), в хлорированных углеводородах (четырёххлористый углерод) и др.

Под действием высоких температур (до 500 °С) полистирол подвергается деструкции, но в отличие от полиэтилена продуктами ее являются летучие соединения – мономерный стирол, его димер и тример. Выделение 2-5% летучих продуктов сопровождается резким падением молекулярной массы образца; в дальнейшем изменение молекулярной массы полистирола происходит медленно. При более высокой температуре (выше 800 °С) механизм деструкции изменяется. В этом случае основными продуктами термодеструкции являются этан и бензол, количество же мономера небольшое – не более 1%.

Как у полипропилена, атомы водорода у третичного атома углерода в цепях полистирола обладают повышенной реакционной способностью. Поэтому в присутствии кислорода по ним легко протекает реакция окисления с образованием гидроперекисных групп $-O-O-H$, которые распадаются, вызывая деструкцию полимерной цепи и образование кето- и гидроксильных групп. Ускоряют процесс окислительной деструкции влага и следы непрореагировавшего мономера. Следует отметить, что полистирол поглощает кислород по сравнению с другими термопластами в ограниченном количестве, поэтому он более устойчив к термоокислительной деструкции.

При окислительной деструкции полистирола наряду с уменьшением молекулярной массы полимера происходит изменение его химического состава из-за появления карбонильных, карбоксильных, перекисных и других кислородсодержащих групп

ПОЛИВИНИЛХЛОРИД (ПВХ) – термопластичный аморфный полимер с формулой элементарного звена $[-CH_2-CHCl-]_n$. Исходным сырьем для производства поливинилхлорида служат ацетилен или этилен. В промышленности поливинилхлорид производят методом радикальной полимеризации по блочному, суспензионному или эмульсионному способу. Способ производства заметно влияет на свойства материала, в частности на его теплофизические характеристики.

ПВХ характеризуется очень низкой термостабильностью, поэтому его нельзя перерабатывать без введения специальных стабилизирующих добавок. Имеющиеся в литературе данные о свойствах относятся к полимерным материалам на основе ПВХ. Ассортимент таких материалов очень велик. На основе ПВХ выпускают непластифицированные материалы под названием "винипласт", пластифицированные продукты – "пластикаты", содержащие до 20% пластификатора, "пластизоли", в составе которых содержится более 20% пластификатора. Наиболее близок к исходному ПВХ материал под названием «винипласт» – непластифицированный пластик, содержащий, кроме ПВХ, 10% стабилизатора, наполнитель и незначительное количество добавок, облегчающих переработку.

Основные свойства винипласта

Плотность, г/куб.см	1,3 – 1,4
Прочность при растяжении, МПа	60 – 90
Относительное удлинение при разрыве, %	10 – 50
Твердость по Бринеллю, кгс/кв.мм	1 – 16
Молекулярная масса	45000 – 110000

В качестве стабилизаторов ПВХ используют неорганические соединения свинца и натрия, а также органические стабилизаторы: стеараты и рицинолеаты натрия, бария, цинка.

Применение пластификаторов позволяет улучшить эластичность ПВХ, снизить температуру стеклования, улучшить перерабатываемость и морозостойкость полимера. В качестве пластификаторов широко применяют сложные эфиры фосфорной и фталевой кислот, трикрезилфосфат, дибутил- диоктилфталаты, дибутилсебацат.

Основные области применения поливинилхлорида

Жесткий непластифицированный "винипласт"	Строительство	- трубы, листы, пенопласт для тепло- и звукоизоляции, погонные изделия;
	Химическая промышленность	- трубы, футеровочные листы, сепараторы, емкости;
	Товары народного потребления	- емкости, бутылки, тара для бытовой химии;
Пластифицированный	Электротехника	- изоляция и защита проводов

ПВХ – "пластикат"

Строительство

и кабелей;

- линолеум, обивочная кожа, упаковочная и декоративная пленка, коврики, плитки для пола, шланги;

Автомобилестроение

- бензостойкие трубки, профили, прокладки, подлокотники, панели и др.;

Товары народного
потребления

- бытовые пленки, скатерти, планки, кожзаменители, надувные игрушки, галантерейные изделия;

Поливинил-
хлоридные пасты –
"пластизоли"

Автомобилестроение

- герметизация сварочных швов;

Химическая
промышленность
Товары народного
потребления

- защитные перчатки;

- герметики для бутылок, банок

Органолептические свойства. Изделия из поливинилхлорида могут быть жесткими или эластичными, резиноподобными (в зависимости от содержания пластификатора), окрашены в различные цвета или неокрашенные (прозрачные или полупрозрачные). Пленка и пленочные изделия мягкие, эластичные, маслянистые на ощупь, прозрачные, полупрозрачные, с нанесенным рисунком и др. Пленки растягиваются и рвутся без образования шейки.

При внесении в пламя изделие из ПВХ загорается, при удалении из пламени - быстро гаснет, горит медленно с плавлением материала. Пламя желтое с зеленой каймой у основания или ярко-зеленое. Запах резкий, острый хлористого водорода, затем запах резины. Остаток обугливается, но сохраняет форму образца.

При комнатной температуре изделия из ПВХ не токсичны. При повышении температуры, несмотря на присутствие в рецептуре материалов на основе ПВХ большого количества "защитающих" добавок, выделяется основной продукт деструкции – хлористый водород, который, растворяясь во влаге воздуха, образует соляную кислоту, которая вызывает повреждение живых тканей человека и коррозию оборудования. Соляная кислота, вступая в реакцию с медью (в составе кабельных отходов), образует ядовитые хлориды меди.

Особенности деградации. Поливинилхлорид устойчив к действию кислот и щелочей не очень высокой концентрации. Низшие спирты на него не действуют, устойчив к действию сложных эфиров, растворяется в хлорированных углеводородах. Особенностью ПВХ является его биологическая стойкость к действию пищевых продуктов и напитков.

ПВХ обладает низкой термической стойкостью. При температуре выше 100 °С он нестабильный. При 160 °С начинает разлагаться. Продукт сначала желтеет, затем краснеет и постепенно становится темно-коричневым с переходом в черный цвет. При 200 °С обнаруживаются признаки разложения уже через 5 мин, молекулярная масса в процессе разложения возрастает и в результате образуется нерастворимый хрупкий продукт. При температурах 200 – 250 °С выход летучих продуктов составляет 100%. Такая низкая термическая неустойчивость ПВХ объясняется легкостью отщепления хлора с выделением хлористого водорода. Этот процесс называют дегидрохлорированием. Накапливающийся в материале HCl способствует данному процессу.

При нагревании ПВХ выше 400°С, наряду с дегидрохлорированием, происходит разрушение основной цепи, в продуктах деградации появляются алканы, алкены, алкадиены и ароматические соединения, а также продукты разложения пластификаторов и стабилизаторов, в частности соединения свинца, кадмия и др.

Аналогичные изменения наблюдаются в поливинилхлориде под действием солнечного света. Начало разложения при этом зависит от того, в какой степени прошло термическое разложение полимера в процессе его переработки в изделие. Следует отметить, что в противоположность термической деградации при разложении под действием света механические свойства полимера ухудшаются еще задолго до того, как становится заметным изменение окраски.

При фотохимическом старении ПВХ ведет себя так же, как и при термоокислительном старении. Ухудшение эксплуатационных показателей изделий из ПВХ связано с расходом стабилизатора на реакции с образовавшимся хлористым водородом. Эффективность фотостабилизации зависит от содержания стабилизатора в поверхностном слое. В условиях открытого воздействия атмосферных факторов (на полигонах ТБО) процессы деградации протекают в сравнительно тонких поверхностных слоях. Наличие даже небольших количеств примесей тяжелых металлов на поверхности изделия, особенно железа, вызывает появление так называемой "точечной" деградации. На поверхности изделий из ПВХ образуются пятна размером до 2 мм, вызванные следами железа. Образующиеся при этом хлориды железа служат катализатором дальнейшей деградации.

Благодаря большому содержанию хлора ПВХ более устойчив к биодеградации, чем другие термопласты, однако на поверхности изделий из ПВХ обнаружен рост некоторых штаммов микроорганизмов.

ПОЛИАМИДЫ. Полиамидами (найлонами) называют полимеры ряда аминокислот или многофункциональных карбоновых кислот и аминов. Все полиамиды содержат амидную ($-CONH-$) группу, с которой связаны

повторяющиеся углеводородные звенья различной длины. На практике полиамиды обозначают числом, которое указывает на длину углеводородной цепочки. Двухзначное число означает, что полиамид получен из диамин и дикарбоновой кислоты, причем первая цифра относится к диамину. Например, полимер, полученный из адипиновой кислоты и гексаметилендиамина, обозначается ПА-66 (наylon 66), из себаценовой кислоты и гексаметилендиамина – ПА-610 (наylon 610), из капролактама – ПА-6 (наylon 6, капрон).

Полиамиды отличаются высокими физико-механическими свойствами и используются для производства синтетических волокон и пластических масс. Они растворимы в феноле, крезоле, муравьиной кислоте, в концентрированных серной и соляной кислотах. Смешанные полиамиды, полученные совместной поликонденсацией различных аминокислот или смесей кислот и диаминов, вследствие нерегулярного строения макромолекул растворимы в спирте и других доступных растворителях.

Основные свойства полиамида 6 (ПА-6)

Плотность, г/куб.см	1,15 – 1,16
Прочность при растяжении, МПа	65 – 80
Относительное удлинение при разрыве, %	10 – 20
Температура плавления, °С	220 – 225
Молекулярная масса	25000 – 50000

Основные области использования

Машиностроение	- конструкционные детали, шестерни, втулки, прокладки, трубы, детали, работающие в условиях динамического режима и при повышенных температурах;
Легкая промышленность	- крючки, защелки, вешалки, крепежные детали, нити, ткани повышенной прочности, приводы вязальных машин;
Товары народного потребления	- сетки, сита, кисти, расчески, подошвы для обуви, пленочные и листовые материалы для упаковки продуктов питания, оболочки колбасных изделий и др.

Органолептические свойства. Изделия из полиамидов твердые, роговидные, устойчивые к истиранию, могут быть окрашены в различные цвета, имеют блестящую или матовую поверхность. Волокна отличаются высокой прочностью, при вытяжке их длина увеличивается в 4 – 6 раз с образованием шейки.

При внесении в пламя образец из полиамида медленно загорается, горит медленно с плавлением. При горении наблюдается белый дым, после удаления из

пламени кипит, пенится и затухает. Пламя желтое с белой верхушкой и синей каймой у основания. Запах жженого волоса, рога.

Характер остатка: нерасплавленная часть усаживается в направлении от пламени, остаток после сжигания – оплавленный твердый шарик серого цвета.

Особенности деструкции. Несмотря на то, что полиамиды относятся к одному из наиболее стойких в химическом отношении классов термопластичных материалов, они также подвергаются деструкции в процессе переработки в изделия и их последующей эксплуатации. Деструкция полиамидов обусловлена их медленным окислением, инициированным действием коротковолнового излучения в видимой или ультрафиолетовой области спектра. Заметное влияние на этот процесс оказывает присутствие паров воды.

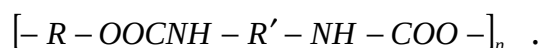
При температуре выше температуры плавления при деструкции полиамидов выделяются вода, двуокись углерода и небольшое количество аммиака. При деструкции ПА-66 выделяется некоторое количество цикlopентанона. При продолжительном нагревании происходит сшивание полиамида, он становится нерастворимым в муравьиной кислоте.

Молекулярная масса полиамидов уменьшается при окислении кислородом воздуха, но и во влажном, и в сухом воздухе этот процесс ограничен поверхностным слоем образца.

При поглощении полиамидом УФ-излучения в результате фотодиссоциации образуются свободные радикалы. Фотодиссоциация протекает в основном по связям C-N. Образующийся в результате алкоксильный радикал разлагается. При действии излучений высоких энергий (рентгеновское, нейтронное и др.) полимерные цепи разрушаются, что приводит к изменению структуры полимера. Материал становится нерастворимым, менее эластичным и более хрупким.

Полиамиды устойчивы к биологической деструкции и абсолютно устойчивы к действию насекомых, включая термитов.

ПОЛИУРЕТАНЫ – это полимеры, получаемые полиприсоединением изоцианатов (бифункциональных или более) и многофункциональных соединений, имеющих не менее двух гидроксильных групп в молекуле (например, гликоли, простые и сложные полиэфиры и т.п.). В результате образуются макромолекулы без отщепления осколков реагирующих групп. Для уретанов характерна группировка атомов: $-OOCN-$. Например, при реакции полиприсоединения дихлоругольных эфиров гликолей с диаминами получают линейный полиуретан с повторяющимся звеном:



Существенным отличием полиуретанов, обусловленным химизмом их образования, является чередование в полимерной цепи участков различной химической природы – остатков молекул гликоля или полиэфира и диизоцианата. Таким образом, в линейной полимерной цепи находятся гетеросвязи различной природы, кроме углерод-углеродных (C-C), связи типа C-O-C в гликоле и простых полиэфирах, связи CO-O- в сложных полиэфирах, связи $-NH-CO-O-$ и др.

Используя диизоцианаты различной химической природы (алифатические, ароматические, циклические и др.), можно значительно варьировать химическую структуру полиуретанов. Применение в качестве второго компонента полифункциональных соединений различных классов – от низкомолекулярных гликолей до олигомеров и сополимеров с гидроксильными концевыми группами – также позволяет разнообразить химическую структуру полимеров.

Разнообразие гетеросвязей существенно сказывается на гибкости полиуретановой цепи, а значит и на свойствах получаемого полимера.

На основе полиуретанов производят термопластичные полиуретаны (ТПУ), сочетающие свойства вулканизированных каучуков и обычных термопластов, а также в большом ассортименте жесткие, эластичные (поролон) и интегральные пенополиуретаны.

Свойства термопластичных полиуретанов

Плотность г/куб.см	1,1 – 1,23
Прочность при растяжении, Мпа	12 – 21
Относительное удлинение при разрыве, %	200 – 300
Твердость по Шору А, усл.ед.	77 – 97
Текучесть расплава, г/10мин	1 – 22

Основные области использования

Машиностроение	- уплотнения и прокладки, шланги и трубопроводы, зубчатые ремни, шестерни, шкивы, абразивостойкие листовые и пленочные материалы, элементы конструкций сельхозмашин;
Легкая промышленность	- детали каблуков, подошва обуви, элементы спортивной обуви, детали ткацких машин, синтетическая кожа, волокна, нити, щетина;
Медицина	- емкости, части медицинского оборудования.

Пенополиуретаны получают в виде блоков или формованных деталей. Поскольку они очень легкие, перевозка готовых изделий на дальние расстояния невыгодна, поэтому гораздо удобнее перевозить компоненты и затем вспенивать их непосредственно на месте применения.

Эластичные пенополиуретаны нашли применение в автомобильной, мебельной, авиационной, швейной промышленности. Используются для тепло- и звукоизоляции, в качестве амортизирующего, набивочного и настилочного материала, а также полупродукта для получения фильтрованных материалов.

Жесткий пенополиуретан применяют для получения трехслойных конструкций тепло- и звукоизоляции, отливки изделий в формах, изготовления плавучих и непотопляемых средств.

Интегральный пенополиуретан используют в автомобилестроении для изготовления подлокотников, сидений, велоседел и др.

Органолептические свойства. Изделия из термопластичного полиуретана могут быть твердыми и эластичными, резиноподобными. Они бесцветные, прозрачные и окрашенные в различные цвета. Изделия технического назначения, как правило, бывают черного цвета.

При внесении в пламя полиуретаны слабо горят коптящим пламенем. Пламя желтого цвета. При вынесении из пламени продолжают гореть, плавясь и стекая каплями. При горении выделяются летучие ядовитые цианистые соединения, в частности синильная кислота, угарный и углекислый газ и окислы азота.

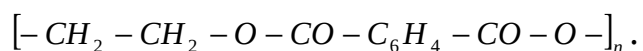
Особенности деструкции. Полиуретаны (ПО) стойкие к климатическим факторам в следующих агрессивных средах: бензине, бензоле, водных растворах солей, маслах, углеводородах и спиртах. Разрушаются ацетоном, этилацетатом, 30%-ной соляной и 10%-ной серной кислотами и 15-20%-ным едким натрием.

При температурах ниже температуры стеклования (50 – 80 °С для различных ПУ) в полиуретанах не обнаружено каких-либо структурных изменений. С повышением температуры в полимере происходят процессы реструктуризации, интенсивность и характер которых зависят от использованных продуктов для их производства. При температуре до 500°С протекают процессы деструкции с выделением цианистого водорода, окислов азота, формальдегида, метана, воды.

Термоокислительная деструкция термопластичного полиуретана обнаружена только на поверхности изделий, которая сопровождается изменением цвета. Изменения в пенополиуретанах более существенны и в основном зависят от использованного сырья для их производства.

Полиуретаны обладают значительной биологической стойкостью, которая зависит от химической природы полимера-основы. Пенополиуретаны поедаются крысами и мелкими грызунами, а эластичные образцы – кожеедами.

ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ (ЛАВСАН) принадлежит к сложным полиэфирам, в состав элементарного звена которых входят остатки терефталевой кислоты и этиленгликоля, объединенные сложной эфирной связью –CO-O- в длинную цепочку:



Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) получают при взаимодействии этиленгликоля с очищенной терефталевой кислотой или диметилтерефталатом. При быстром охлаждении расплава образуется аморфный ПЭТФ (АПЭТФ). Кроме него могут изготавливать аморфно-кристаллический ПЭТФ и различные сополимеры. При получении кристаллического ПЭТФ используют различные добавки и затравки, инициирующие процесс кристаллизации. Сополимеризация терефталатовой кислоты с этиленгликолем и диметаноциклогексаноном сопровождается увеличени-

ем содержания в макромолекуле диэтиленгликолевых звеньев, и в результате получается модифицированный аморфный полиэфир – полиэтилентерегиколь (ПЭТГ). Продолжаются разработка и расширение использования новых разновидностей полиэфиров, среди которых полибутилентерефталат, политриметилентерефталат, полиэтиленнафталат и др.

ПЭТФ не растворяется в воде и при комнатной температуре в большинстве органических растворителей, стоек к жирам, маслам, щелочам, разбавленным кислотам. По прочности он превосходит основные многотоннажные полимеры и конкурирует с полиамидами, обладает высокой жесткостью, ударной вязкостью, стойкостью к ползучести. До 70-х годов ПЭТФ в основном использовали для изготовления волокон, высокопрочных нитей и канатов, конденсаторной пленки, кино- и магнитофонных пленок и в незначительном количестве (до 10% объема выпуска смолы) в машиностроении для изготовления корпусных изделий и подшипников скольжения. После разработки двухстадийного процесса формования ПЭТ-бутылок рост потребления полиэфиров для упаковки составил более 15% в год.

Основные характеристики ПЭТФ

	Аморфный ПЭТФ	Кристаллический ПЭТФ
Плотность, г/куб.см	1,3	1.31 – 1.45
Прочность при растяжении, МПа	60 – 160	160 – 200
Относительное удлинение при разрыве, %	90 – 120	70 - 100
Температура плавления, °С	235 – 265	265

Органолептические свойства. Изделия из ПЭТФ твердые на ощупь, упругие, окрашены в разные цвета, имеют блестящую поверхность. Пленка жесткая, прозрачная или окрашена, при сминании издает шелестящий звук, отличается высокой прочностью, не растягивается.

При внесении в пламя образец из ПЭТФ сразу загорается, горит медленно с плавлением образца, выделяя черную копоть. После удаления из пламени продолжает гореть, плавится. Пламя желтовато-оранжевое, коптящее. Запах сладкий, ароматный или без специфического запаха. Остаток после сгорания – оплавленный потемневший шарик.

Особенности деструкции. Основные характеристики ПЭТФ сохраняются в интервале $-60 - +80$ °С. При температуре выше 80 °С деструкция пленок и волокон из ПЭТФ происходит с заметной скоростью в автокаталитическом режиме. Образующиеся карбонильные группы на концах полимерных фрагментов и молекулы терефталевой кислоты служат катализаторами процесса деструкции.

Деструкция ПЭТФ в растворах кислот и щелочей происходит в тонком реакционном слое, т.е. практически с поверхности образца, при этом образуется шероховатая поверхность. Такой процесс объясняется особенностями физической структуры и трудностью диффузии реагентов внутрь полимера. Однако при

температуре выше 200 °С процесс гидролиза протекает с довольно большой скоростью, особенно в присутствии щелочи.

Облучение пленок из ПЭТФ ускоряет процессы деструкции полимера. В лабораторных условиях установлено, что солнечное излучение уменьшает жизнеспособность пленок из ПЭТФ до 40 лет в сухих условиях, а при контакте с влажной почвой (условия полигона ТБО) – до 18 лет.

На полигоне ТБО ПЭТФ проявляет инертность и не загрязняет грунтовые воды. При сжигании образуются углекислый газ и вода.

Таким образом, анализ процессов деструкции полимерных материалов в условиях полигона твердых бытовых отходов показывает, что:

- характер взаимодействия между полимерами и окружающей средой определяется процессами проницаемости, диффузии в них низкомолекулярных веществ. Диффузия среды в полимер вызывает двойное действие: появляются дополнительные реакционно-способные молекулы, в частности вода, кислород и др. и изменяется взаимодействие между макромолекулами. Проницаемость среды через полимер хотя и отличается существенно для различных полимеров, однако она невысокая, поэтому химическая деструкция имеет топографический характер, т.е. начинается с поверхности изделия;
- солнечная радиация действует разрушающе только в областях, близких к поверхности изделия. Деструктированная поверхность изделия, как правило, служит барьером для проникновения солнечных лучей вглубь полимерной матрицы изделия;
- термическая деструкция может протекать по всему объему изделия. Однако если учесть, что локальные зоны высоких температур (зоны горения) на полигоне малочисленные и образуются только вблизи поверхности, а не в глубине, то температура не превышает 37°С. Поэтому термическая деструкция полимеров протекает с незначительной скоростью.

С учетом сказанного можно утверждать, что из полимерной составляющей полигона твердых бытовых отходов можно получать вторичный полимерный материал с определенными свойствами для производства полезной продукции.

В процессе производства изделий из полимерных материалов, их эксплуатации и пребывания на полигоне ТБО происходят изменения, ухудшающие их свойства:

- частично или полностью удаляются стабилизаторы, препятствующие деструкции полимерных цепей;
- уменьшается содержание пластификаторов в результате выпотевания, вымывания или жизнедеятельности микроорганизмов, что приводит к повышению хрупкости материала;
- происходят структурные изменения в полимерной матрице материала: за счет разрушенных макромолекул образовались низкомолекулярные осколки, а у карбоцепных полимеров (ПЭ, ПП, ПС, ПВХ) произошли сшивки полимерных цепей и образовалась гель-фракция, что также ухудшает свойства материала. Это значит, что при производстве продукции из вторичных полимерных материалов в рецептуру необходимо вводить стабилизаторы и пластификаторы

в количестве, достаточном для обеспечения технических требований к материалу на изготавливаемую продукцию.

Полимерная матрица отходов наполняется не очень летучими, но ядовитыми осколками разрушения полимерных цепей и добавок (стабилизаторов, пластификаторов и др.), в частности содержащими тяжелые металлы, а также веществами, с которыми отходы имели контакт при эксплуатации изделия и на полигоне, например, полипропиленовый материал пришедших в негодность банок свинцовых аккумуляторов содержит свинец и соли свинца.

3.3.4. Подготовка полимерных отходов к переработке

Операции технологического процесса подготовки полимерных отходов к переработке подразделяются на проводимые с целью изменения формы и размеров отходов и улучшения их качества.

Изменение формы и размеров диспергированных полимерных отходов необходимо для того, чтобы обеспечить равномерную загрузку технологического оборудования и однородность вторичного сырья с достижением гомогенизации при изготовлении продукции методом экструзии и литья под давлением. Для улучшения качества вторичного сырья полимерных отходов из них удаляют примеси и загрязнения, разделяют по видам пластмасс, проводят дегазацию и модификацию. Операции, изменяющие форму и размеры полимерных отходов, – это измельчение, уплотнение (агломерация), грануляция. Качество полимерных отходов как вторичного сырья можно изменить с помощью различных методов обогащения.

Для превращения отходов термопластов в сырье, пригодное для производства из него изделий, необходима его предварительная обработка. Выбор способа последней зависит от источника образования отходов и степени их загрязненности. Так, однородные отходы производства и переработки полимерных отходов обычно перерабатывают на месте их образования, для чего требуется незначительная предварительная обработка, главным образом измельчение и грануляция. Отходы в виде изношенных, вышедших из употребления изделий требуют более основательной подготовки.

Предварительная обработка отходов сельскохозяйственной полиэтиленовой пленки, мешков из-под удобрений, отходов из других компактных источников, а также смешанных отходов включает следующие этапы: сортировка (грубая) и идентификация (для смешанных отходов), измельчение, разделение смешанных отходов, мойка, сушка. После этого материал подвергают агломерации и грануляции.

Предварительная сортировка предусматривает грубое разделение отходов по различным признакам: цвету, габаритам, форме и, если это нужно и возможно, по видам пластмасс. Предварительную сортировку производят, как правило, вручную на столах или ленточных конвейерах. При сортировке одновременно удаляют из отходов посторонние предметы и включения.

Разделяют смешанные (бытовые) отходы термопластов по видам следующими способами: флотационным, разделением в тяжелых средах, аэросепарацией, электросепарацией, химическими методами глубокого охлаждения. Наибольшее распространение получил метод флотации, который

позволяет разделять смеси таких промышленных термопластов, как полиэтилен (ПЭ), полистирол (ПС), полипропилен (ПП) и поливинилхлорид (ПВХ). Разделение измельченных полимерных отходов осуществляют в ваннах флотационных (разделительных). Агрегат для флотационного разделения полимерных отходов показан на рис. 3.16.

Методы флотации и разделения являются наиболее эффективными. Экономически целесообразно использовать смешанные отходы без разделения. Они имеют следующий состав: полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) – 9,5, полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) – 20,2, полипропилен (ПП) – 7,4, поливинилхлорид (ПВХ) – 16,5, полистирол (ПС) – 18,3%. Метод флотации основан на разности удельного веса составляющих компонентов композитных измельченных полимерных отходов.

Ответственной операцией подготовки отходов (особенно, если они сильно загрязнены) является мойка горячей или холодной водой с применением и без применения моющих средств. Существующие технологии переработки полимерных отходов предусматривают моечно-резательные устройства. Однако при большой загрязненности полимерных отходов (более 5%) мойка недостаточно эффективна и малопроизводительна. На практике пользуются многоступенчатой мойкой, при необходимости с добавлением моющих средств.

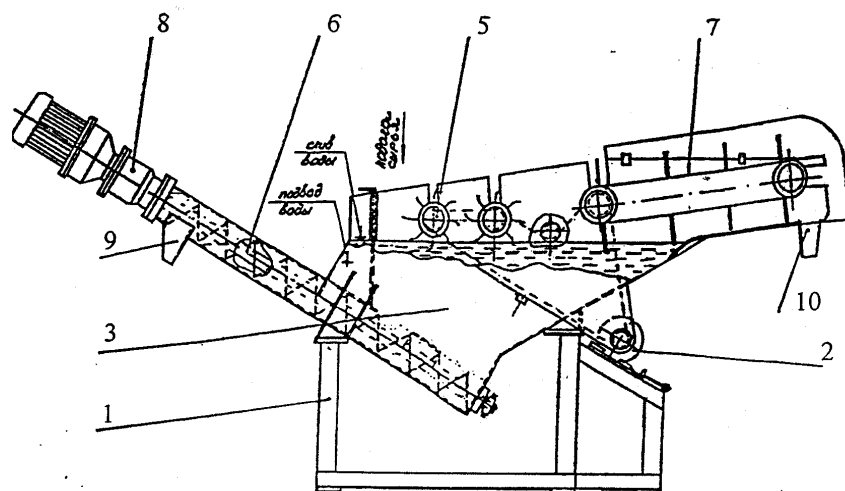


Рис. 3.16 – Ванна разделительная:

1 – станина; 2 – электродвигатель; 3 – ванна разделения фракций; 5 – лопасти; 6 – транспортер шнековый; 8 – редуктор; 9 – лоток выгрузки тяжелой фракции; 10 – лоток выгрузки легкой фракции

За рубежом начали выпускать установки, в которых имеются устройства и для мойки, и для сушки производительностью до 350-500 кг/ч. В такой установке измельченные отходы загружают в ванну, которую заполняют моющим раствором. Пленка перемешивается лопастной мешалкой, при этом грязь оседает на дно, а отмытая пленка всплывает.

Немаловажным звеном при подготовке к переработке полимерных отходов является сушка измельченных полимеров после моечно-резательного устройства и флотации (разделения). Для этого применяют сушилки различных типов: полочные, камерные, ленточные и т.д. В большинстве случаев обезвоживание и

сушку пленки осуществляют на вибросите и в вихревом сепараторе. Остаточная влажность пленки составляет 0,1%.

Идентификация отходов предусматривает определение конкретного вида полимера (в частности, при разделении смешанных отходов) и проводится различными методами (по определению плотности, температуры плавления, запаха горящего материала, цвета пламени и т.д.).

Для измельчения кусковых отходов используют роторные ножевые измельчители типа ИПР производительностью от 100 до 1000 кг/ч. Пленочные и волокнистые отходы измельчают на измельчителях типа ИРНП с устройствами для предварительного и окончательного измельчения материала. В камеру резания измельчителя при переработке пленочных отходов подается вода.

Производительность измельчителя определяется его конструкцией, количеством и длиной ножей, частотой вращения ротора, видом отходов. Самая низкая производительность наблюдается при переработке отходов пенопластов, которые трудно компактно загрузить. Более высокая производительность достигается при переработке отходов пленок, волокон, выдувных изделий.

Степень измельчения, которая определяется величиной отверстий сита, ограждающего снизу или с боковой стороны камеру помола, составляет от нескольких до 25-30 мм.

Измельчение – очень важный этап подготовки отходов к переработке, так как степень измельчения определяет объемную плотность, сыпучесть и размеры частиц получаемого продукта. Регулирование степени измельчения позволяет механизировать процесс переработки, повысить качество материала за счет усреднения его технологических характеристик, сократить продолжительность других технологических операций, упростить конструкцию перерабатывающего оборудования.

Перспективным способом измельчения полимеров является криогенный, который дает возможность получать мелкодисперсные фракции из полимерных отходов со степенью дисперсности от 0,5 до 2 мм.

Из распространенных методов получения мелкодисперсных полимерных материалов для измельчения отходов полимеров наиболее приемлемым является метод механического измельчения.

3.4. Экологические и экономические аспекты вторичной переработки полимерных отходов

Отходообращение и вторичная переработка полимерных отходов, применение их в коммунальном хозяйстве городов Украины являются актуальными проблемами экологического и экономического характера.

Годовой объем хозяйственного мусора на одного жителя г. Харькова в среднем составляет 250 кг, в том числе 30 % (75 кг) – тара и упаковка, до 12 % (30 кг) – полимерные отходы, отходы полиэтилентерефталата (ПЭТ - бутылка) – 0,8-1% (2-2,5 кг). Использованная тара и упаковка является ценным вторичным сырьем, которое чаще всего используется для производства той же упаковки и

тары, хотя диапазон применения вторичного полимерного сырья довольно широкий, особенно в коммунальном хозяйстве и инфраструктуре города.

Производство тары и упаковки из полимерных материалов – сегодня интенсивно и эффективно развивающаяся отрасль экономики. С учетом этого надо принимать во внимание следующее: наряду со своими положительными свойствами тара и упаковка при отсутствии утилизации имеет и отрицательные качества: экономический кругооборот удлиняет цепь создания стоимости на еще одно звено – утилизацию отходов, указывая путь к созданию благоприятных для охраны окружающей среды и экономически выгодных форм производства и потребления. При выборе способа использования и утилизации отходов нужно учитывать общие затраты энергии. Отходы, которые выгоднее перерабатывать, чем сжигать и утилизировать на полигонах, нужно действительно перерабатывать. В настоящее время в Украине ежегодно образуется около 6 млн. тонн отходов, среди которых до 50 % составляют отходы тары и упаковки. Эти отходы являются серьезными загрязнителями окружающей природной среды (в естественных условиях они не разлагаются в течение многих десятилетий), поэтому большое внимание необходимо уделять их сбору, переработке и утилизации.

В промышленную переработку в основном принимают отходы пластмасс, относящиеся к категории термопластов.

Переработка технологических отходов пластмасс сложностей не представляет. Как правило, эти отходы перерабатывают на тех же предприятиях, где они образуются. Степень утилизации промышленных отходов пластмасс достигает 90 %.

Отходы производства термопластов используют для изготовления изделий технического назначения, бытовой химии и нужд коммунального хозяйства (трубы полиэтиленовые, тротуарная плитка, дождеприемники, люки и крышки канализационные) или в качестве добавок (10-15 %) к исходному сырью.

Большую сложность представляет материальная утилизация отходов потребления пластмасс, в том числе попадающих в ТБО. В большинстве районов Харькова содержание пластмасс в ТБО составляет 8-12 % (упаковка, тара).

Вовлечение в переработку отходов пластмасс, бывших в употреблении, во многом связано с организацией их селективного сбора. Степень промышленной переработки таких отходов методом рециклинга в Харькове незначительная. Опытно-экспериментальное производство ООО «Харьковвторполимер» перерабатывает всего до 500 т/год полимерных отходов. В то же время система мониторинга подтверждает значительное накопление отходов полимерной упаковки и тары, которое в Харькове составляет до 30-50 тыс. тонн в год.

Таким образом, проблема перехода к технологии промышленной переработки полимерных отходов имеет два взаимосвязанных аспекта – экономический и экологический:

экономический – предварительный сбор и сортировка ТБО позволят вернуть в переработку значительное количество ресурсно-ценных компонентов вторичного сырья, в том числе полимеров;

экологический – уменьшится количество накопленных отходов, значительно снизится объем отходов, подлежащих захоронению на полигоне.

Расчет экономического эффекта при заготовке, подготовке к переработке и использовании вторичного полимерного сырья должен проводиться в производственно-технологическом аспекте. Это касается и технических решений на уровне перерабатывающих предприятий, которые следует принимать только с учетом интересов производства. При этом нужно различать критерии по затратам и по результатам:

По затратам:

- *одноразовые затраты* – капиталовложения; организация производства по переработке полимерных отходов;
- *текущие затраты* – себестоимость; материалоемкость; закупочные цены исходного полимерного сырья; потребляемые энергоресурсы (электроэнергия, вода, сжатый воздух);
- потребность в рабочей силе;
- защита окружающей среды – очистные сооружения, воздухообменная вентиляция и др.).

По результатам:

- прибыль, объем производства, срок окупаемости;
- производительность труда;
- качество продукции (сертификация, ТУ);
- экономия энергоресурсов;
- экологические характеристики, снижение затрат на мероприятия по защите окружающей среды, усовершенствование технологии производства.

Для исходного сырья полимерных отходов должна быть установлена закупочная цена, которая стимулирующе действовала бы и покрывала расходы. Предприятия, на которых образуются отходы, не хотят отдавать их бесплатно или по ценам, только компенсирующим расходы, если становится известно, что предусматривается дальнейшее использование вторичного сырья.

О сборе, накоплении и переработке ресурсно-ценных компонентов, входящих в ТБО, включая полимерные отходы, накоплен определенный опыт, на основании которого было принято решение о целесообразности их сбора в Украине, подтвержденное постановлениями Кабинета Министров № 183 от 28.02.2001г.; № 915 от 26.07.2001г.; № 1084 от 26.07.2002г. «Про впровадження системи збирання, сортування, транспортування, переробки та утилізації відходів як вторинної сировини».

Усиленное использование вторичного пластмассового сырья требует больших капитальных вложений. Имеющиеся мощности недостаточны, а для комбинированных пластмассовых материалов, бывших в употреблении, еще не достигнут необходимый технологический уровень производства. Требуются специальные производственные помещения, транспортные средства, упаковочные материалы, установки для компактирования или размола, добавочная рабочая сила, которую необходимо специально обучать, изготовление специализированного технологического оборудования для переработки отходов.

Критерии по результатам лишь частично могут быть выражены количественно. Одна из возможных характеристик – соотношение цен вторичного и первичного сырья, при этом нужно учитывать уровень его свойств.

Материальные и энергетические ценности, заключенные в отходах, относительно небольшие затраты на регенерацию предопределяют получение существенного экономического эффекта, усиливающегося благодаря экономии первичного сырья, стоимость которого на рынке Украины значительная и превосходит более чем в два раза стоимость вторичного полимерного сырья.

Расчеты экономической эффективности производства и применения вторичного полимерного сырья имеют свою специфику. В частности, проблема окупаемости здесь возникает не по вариантам внедрения новой техники, а по вариантам использования полимерного гранулята в изделиях и продукции для нужд коммунального хозяйства и инфраструктуры городов Украины. Кроме того, во многих случаях не возникает необходимость окупать дополнительные капитальные вложения в общепринятом смысле этого термина, так как достигается экономия и текущих, и единовременных затрат. Однако это все равно не позволяет отказаться от расчета затрат, так как результат расчета включает не только сопоставление фактического коэффициента с нормативным, но и определение абсолютной суммы затрат. Поэтому текущие и единовременные затраты независимо от динамики следует соизмерять путем их суммирования по определенной методике с учетом специфики производства вторичной переработки исходного полимерного сырья (тара, упаковка, пленки, ПЭТ-бутылки и др.).

Главная задача методики определения сравнительной экономической эффективности вторичных полимерных материалов – правильная оценка затрат и экономии на стадиях их производства и использования в виде готовой продукции. Оценка эффективности использования гранулята полимерных отходов предполагает учет текущих и единовременных затрат на всех стадиях движения материала – от закупки исходного сырья, изготовления гранул полимерных материалов, их переработки в изделия до потребления готовой продукции в сфере эксплуатации и учета этих затрат.

Определение эффективности применения вторичного полимерного сырья и изделий на их основе нужно рассматривать как систему отраслей, связанных между собой взаимными поставками элементов основных и оборотных фондов, передачу которых из одного звена в другое следует оценивать по единой методологии, например, по приведенным затратам. С этой целью весь процесс производства и применения полимерного вторичного сырья можно условно разделить на четыре стадии: производство исходного сырья и полупродуктов; производство полимерных гранул; производство и использование изделий из полимерных гранул в промышленных изделиях, оборудовании и другой продукции; применение продукции из полимерного вторичного сырья в отраслях – потребителях, особенно в коммунальном хозяйстве города. Во всех случаях расчетам технико-экономической эффективности производства и применения вторичного полимерного сырья должен предшествовать технико-экономический анализ, который служит средством для решения важных производственных задач, а именно:

- определение целесообразных направлений развития отрасли по производству гранулята вторичных полимеров;
- экономическое обоснование технических мероприятий и определение очеред-

ности их внедрения;

- выбор наиболее экономического варианта при разработке выпускаемых изделий из полимерного сырья;
- оценка возможностей улучшения технико-экономических показателей изделий, полученных с применением сырья из вторичных полимеров;
- определение технического уровня вторичного полимерного гранулята в соответствии с технологическим регламентом и ТУ выпускаемого вторичного сырья.

Главным критерием измерения эффективности вторичных полимерных материалов является сфера конечного потребления продукции, т.е. отрасли-потребители. Методы такого измерения соответствуют стадиям использования в хозяйстве продукции конечного (готовые изделия), промежуточного (комплектующие и сменяемые изделия) и начального (материалы) потребления.

Развитие утилизации отходов производства и потребления требует разработки эффективных мер экономического стимулирования использования вторичных ресурсов (экономических методов управления, методики определения экономической эффективности переработки отходов и др.). В целях стимулирования предприятий и организаций по учету, сбору, заготовке и переработке отходов производства и потребления необходимо совершенствовать ценообразование на отходы и изготавливаемую из них продукцию.

Цены играют не только стимулирующую роль в рациональном использовании материальных ресурсов, но и в решающей степени влияют на эффективность применения любого стоимостного показателя для оценки результатов деятельности предприятий вторичной переработки полимерных отходов. Поэтому для повышения уровня использования отходов производства и потребления важное значение имеет формирование на отходы и изготавливаемую из них продукцию экономически обоснованных цен, создающих равную заинтересованность в утилизации отходов как предприятий-источников образования отходов, так и предприятий, их потребляющих, а также специализированных заготовительных систем в процессе сбора, подготовки к промышленному потреблению и переработки отходов в продукцию.

Закупочные цены – это рычаг стимулирования предприятий и организаций – источников образования отходов, их сбора и реализации.

Наиболее сложной проблемой ценообразования в области утилизации отходов является определение методологии формирования цен на отходы, по которым предприятия-источники образования отходов должны их реализовывать. Единого подхода к решению этой проблемы в настоящее время нет.

Отходы, пригодные для сбора и использования, – это отходы, для которых существует технология переработки и их утилизация экономически целесообразна. Вторичные ресурсы – это значительная часть объема отходов, образующихся как результат деятельности людей.

Помимо понятий «отходы», «отходы, пригодные для сбора и использования», «вторичные ресурсы» важным является понятие «вторичное сырье», соответствующие ТУ и технологическому регламенту.

Вторичные полимеры являются частью вторичных ресурсов, которые образуются в компактных источниках и у населения. Сложившаяся структура производства, переработки полимеров и использования готовой продукции из них включает следующие этапы: производство полимеров; переработка полимеров в готовую продукцию по направлениям использования; использование изделий из полимеров в сферах коммунального хозяйства и инфраструктуры города.

Ведущее место в структуре экономики регионов Украины должно отводиться экономическому обеспечению мер по утилизации отходов, особенно тех отраслей производства, которые прогнозируют их массовое накопление.

В плане выбора приоритетов решения проблемы отходов нужно исходить из их оценки как ресурсного и как экологически опасного источника. Соответственно с европейской практикой проблема отходов рассматривается как один из определяющих факторов экологической опасности. При этом делается одновременно на упреждение образования отходов (особенно опасных) и на максимальную их утилизацию.

Обобщение опыта управления отходами в развитых странах и опыта использования отходов в Украине позволяет определить вторичное ресурсопользование как долгосрочную стратегию развития национального хозяйства, которая направлена на расширение его ресурсных возможностей и одновременно на повышение интегральной эколого-экономической эффективности.

Правовые основы относительно стимулирования утилизации и переработки отходов определены Законом Украины «Об охране окружающей природной среды» (ст. 41, 48) как элемент системы экономического обеспечения охраны окружающей среды.

В настоящее время правовые основы стимулирования использования отходов конкретизированы Законом Украины «Об отходах» (ст. 38, 40, 41). В соответствии с этим Законом устанавливаются дополнительные экономические стимулы для субъектов хозяйственной деятельности, которые:

- внедряют новые технологии, направленные на уменьшение образования отходов;
- утилизируют отходы при производстве продукции (выполнение работ, оказание услуг и др.) с учетом соответствия продукции существующим стандартам или другим нормативным документам;
- осуществляют сбор, заготовку и поставку (продажу) отходов как вторичного сырья;
- проводят строительство предприятий, цехов, монтаж технологических линий по утилизации отходов;
- организуют изготовление оборудования и оснастки для утилизации отходов;
- принимают участие в финансировании по уменьшению образования и утилизации отходов.

Стимулирование указанных видов деятельности должно определяться по каждому отдельно обоснованному проекту в зависимости от его значимости органами государственного управления разных уровней (государственного, областного, базового) в пределах их компетенции.

Эколого-экономическое содействие деятельности, связанной со сбором, заготовкой и переработкой отходов как вторичного сырья, должно стать общегосударственной практикой в Украине.

В системе санитарной очистки города должны быть задействованы более гибкие нормы и правила, учитывающие изменяющиеся условия, реальные количественные и качественные объемы образования бытовых отходов города.

Для практического внедрения эколого-экономических аспектов вторичной переработки полимерных отходов необходимо выполнить исследования качественного состава накопленных и образующихся отходов, подлежащих переработке; маркетинг рынка потребности в продукции, производимой с использованием отходов; сравнительную оценку качества этой продукции с аналогичной продукцией, производимой из основного сырья; технико-экономическое обоснование организации производства по переработке ресурсно-ценных сырьевых компонентов бытовых отходов. Основная задача в процессе выполнения этих работ – получение достоверной информации об объемах размещения отходов, в том числе их расположении, о фактических количествах ресурсно-ценных «сырьевых» отходов в местах сбора и накопления.

3.5. Оборудование для переработки полимерных отходов термопластичных материалов

Утилизация отходов использованной упаковки из термопластичных полимеров зависит от применяемых технологий и оборудования. При переработке таких отходов методом рециклинга (регрануляции) одним из основных требований является выбор оборудования и технологии переработки. Предпочтение отдается оборудованию и технологии, позволяющим перерабатывать отходы полимеров при их минимальной очистке и сортировке.

В зависимости от вида, размеров, типа полимеров, требований, предъявляемых к готовому изделию из вторичного сырья, существуют различные технологические линии и оборудование для измельчения, подготовки и переработки полимерных отходов из полиэтилена низкой и высокой плотности (ПЭНД, ПЭВД), полистирола (ПС), полипропилена (ПП), поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилентерефталата (ПЭТФ – ПЭТ-бутылки).

Операции технологического процесса подготовки полимерных отходов подразделяют на проводимые с целью изменения:

- формы и размеров исходного вторичного сырья;
- качества вторичного сырья.

Технологические операции, изменяющие форму и размеры отходов, - это измельчение, уплотнение, грануляция. Громоздкие полимерные отходы нужно грубо измельчать. Для этого используют различные резательные приспособления, дробилки, измельчители, моечно-резательные устройства. Кусковые отходы (полимерная ящико-тара, поддоны и др.) измельчают в ножевых дробилках до

получения фракций, размеры которых не превышают, определенных технологией размеров. Полимерная упаковка, пластмассовые пленочные отходы отличаются малой насыпной плотностью, их нельзя без уплотнения подавать к подготовительному оборудованию технологической линии гранулирования. Уплотнение их достигается на оборудовании технологической операции агломерации. Последняя позволяет получить сыпучий («окатыши») материал из пленочных отходов. Производственная практика показывает, что обрезки пленочных отходов полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) можно уплотнять в скоростном смесителе моечно-резательного агрегата, где благодаря высокой

скорости рабочего органа отходы пленки разрываются и в результате выделения теплоты при этом разогреваются.

Подготовка отходов будет более экономичной, если технологические процессы измельчения и агломерации соединить в одной установке. Это можно получить на агрегате особой конструкции скоростного смесителя с расположением по окружности его корпуса нескольких стационарных ножей. После технологической операции агломерации насыпная плотность полимерных отходов достигает 400 – 450 кг/м³.

Технологические операции, изменяющие качество полимерных отходов, – это промывка и сушка.

Измельченные и уплотненные методом агломерации полимерные отходы гранулируют методами прутковой, стренговой и ленточной грануляции на экструдере, входящем в состав технологической линии переработки полимерных отходов термопластов.

Сопоставление основных операций разных методов подготовки полимерных отходов приведено в табл. 3.8.

Решающим фактором, влияющим на качество гранулята, является равномерное дозирование агломерированных отходов термопластов в загрузочную зону экструдера-гранулятора. Неравномерность подачи агломерата в эту зону может привести к неравномерности гомогенизации процесса гранулирования. Минимальная насыпная плотность агломерата, обеспечивающая удовлетворительную загрузку гранулятора, должна быть не меньше 250 кг/м³.

Таблица 3.8 – Основные операции и методы подготовки полимерных отходов к переработке

Цель операции	Технологическая операция	Технологический процесс
Изменение формы и размеров	Грубое измельчение	Распиловка на пилах (ленточные, дисковые) Порезка на ножницах (рычажные, ударные и гидравлические) Дробление на дробилках (ножевые,

	Уплотнение	валковые, роторные)
	Грануляция	Пакетирование (пакетировочные прессы) Агломерация (скоростные смесители, агломераторы) Стренговая, ленточная, горячая порезка (экструдеры - грануляторы)
Изменение качества	Предварительная очистка. Сушка	Промывка (моечные машины, моечно-резательный агрегат) Сушка горячим воздухом Центрофугирование, отжимка
	Отделение металлов	Магнитное отделение Индуктивное отделение Осаждение Флотация
	Пластикация (регрануляция)	Механический разогрев с дополнительным электрообогревом с подводом теплоты (экструдер-гранулятор)

Агломерированный материал с меньшей плотностью нужно помещать в зону загрузки экструдера специально оснащенными питательными установками – бункерами с встроенными шнековыми толкателями или шнековыми ворошителями.

Для переработки отходов полимеров применяют различные технологии и технологические линии и оборудование, входящее в их состав:

- линия для переработки разовой посуды;
- линия для измельчения полиэтиленовых труб и профилей;
- линия для измельчения отходов изделий больших размеров из полимеров (бочки, ящико-тара, поддоны);
- линия для переработки использованной тары ПЭТ-бутылок.

Основной проблемой в рециклинге полиэтилентерефталата (ПЭТ-бутылки) является удаление загрязняющих примесей – этикеток и остатков клеящих составов. Другой существенный фактор – содержание влаги в полимере, легко удаляемой путем сушки.

3.5.1. Прессы червячные (экструдеры, грануляторы)

Переработка полимерных материалов, входящих в состав ТБО, во многом зависит от применяемых технологий и оборудования. При переработке таких отходов методом рециклинга (регрануляции) одним из основных агрегатов является червячный экструдер-гранулятор. К экструдерам, входящим в состав

технологических линий, при переработке полимерных отходов использованной тары и упаковки из термопластичных полимеров предъявляются более высокие требования, чем при переработке первичных (исходных) полимеров. На эти требования оказывают влияние свойства и вид отходов, пластифицируемых в материальном цилиндре экструдера (агломерат, хлопья и смеси измельченной полимерной тары и упаковки).

Технология и оборудование для переработки вторичных полимеров здесь приводятся на примере опытно-экспериментального производства ООО «Харьковвторполимер». В основу технологии и получения гранулированного сырья из вторичных полимеров положен метод экструзии.

Основным узлом экструдера является пластицирующая система, состоящая из червяка (двух) и материального цилиндра со смонтированными на нем нагревательными и охлаждающими элементами. В зависимости от типа и вида полимерных отходов, вводимых в материальный цилиндр, а также требований к качеству получаемых гранул выбирают двухчервячные экструдеры. При переработке вторичного сырья на таких экструдерах получают более однородные гранулы готового вторичного полимерного сырья.

В линиях гранулирования вторичных термопластов применяют экструдеры с червяком $D = 50 \div 200$ мм и длиной $L = (20 \div 40) D$ мм. Измельченные, прошедшие подготовительную операцию агломерации полимерные отходы все же характеризуются низкой плотностью. Поэтому для исключения «зависания» измельченных отходов полимеров при их подаче в загрузочную камеру материального цилиндра экструдеры дополнительно оснащены специальным питательным устройством в виде бункера-накопителя с вращающимся ворошителем-мешалкой.

Для привода экструдеров применяются: электродвигатель переменного тока с вариатором или коробкой скоростей; коллекторный электродвигатель переменного тока с бесступенчатой регулировкой числа оборотов; электродвигатель постоянного тока, включенный по системе генератор – двигатель; гидравлический двигатель. Благодаря универсальности, высокой производительности и степени автоматизации, непрерывности процесса наибольшее распространение получили червячные экструдеры.

Основные параметры червячного экструдера: диаметр червяка, отношение его диаметра к длине ($L : D$) и скорость вращения червяка. Экструдеры различаются в первую очередь по диаметру червяка.

Червячные экструдеры разделяются на одно- и многочервячные, одно- и многоцилиндровые. Различают также экструзионные машины с простым профилем червяка (цилиндрический червяк с постоянным или переменным шагом, с переменной или постоянной глубиной канала) и машины со сложным профилем червяка (ступенчатым, прерывистым, коническим, параболическим).

В зависимости от скорости вращения червяка различают экструдеры до 150 об/мин и скоростные (свыше 150 об/мин). На большинстве экструдеров червяки неподвижны в осевом направлении, однако на некоторых машинах червяк кроме вращательного имеет и возвратно-поступательное (осциллирующее) движение.

Конструкция экструдера зависит от перерабатываемого материала и в меньшей степени от вида профилируемого изделия. Для переработки гранулированных термопластичных материалов применяют одно- и двухчервячные экструдеры.

3.5.1.1. Процесс экструзии

Экструзия – это современный, высокоавтоматизированный непрерывный процесс производства изделий и полуфабрикатов нужной формы, осуществляемый путем продавливания расплава полимерного материала через формующий инструмент (головку). Экструзию применяют для приготовления гранул, листов, пленок, труб, профильных и выдувных изделий, тонкостенных покрытий на бумагу, ткани, картон, провода и кабели в пластмассовой изоляции. Методом экструзии перерабатываются практически все известные термопластические полимеры и композиции на их основе.

В процессе экструзии исходный полимерный материал через загрузочное окно поступает в цилиндр и перемещается в осевом направлении в спиральном канале шнека, образованном внутренней поверхностью и нарезкой шнека. При движении материал уплотняется, размягчается и расплавляется. Из него удаляется воздух, расплав гомогенизируется и под действием усиливающегося давления продавливается через формующую головку. Горячее изделие непрерывно охлаждается, что позволяет ему стать твердым и сохранить форму. Непосредственно экструзионное формование состоит из трех стадий: пластикация полимерного материала, формования расплава и охлаждения готового изделия.

Подготовка полимерного материала к формованию, его нагрев, пластикация и гомогенизация осуществляются с помощью вращающегося шнека в цилиндре экструдера. Шнек характеризуется такими геометрическими параметрами: диаметром D ; длиной L ; шагом винтовой нарезки t ; глубиной нарезки h ; шириной гребня витка l ; величиной зазора между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра δ ; углом подъема винтовой линии нарезки шнека φ . Цилиндр со шнеком, являющийся основным технологическим органом машины, выполняет последовательно ряд рабочих операций, действие которых можно условно разделить на три зоны: загрузка, сжатие и дозирование (рис. 3.17).

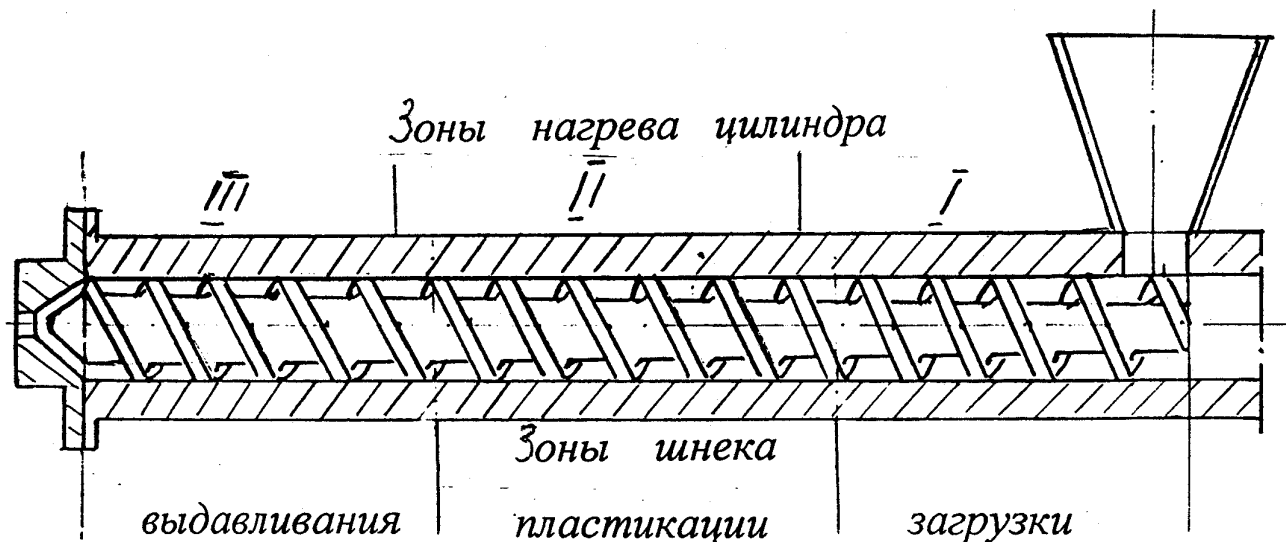


Рис. 3.17 – Схема экструзионной машины

Зона загрузки шнека составляет около трети длины рабочей части шнека, но длина ее в разных шнеках заметно колеблется и составляет $L_{загр.} = (2-10)D$. Зона загрузки предназначена для захвата небольшого количества материала, поступающего через горловину в цилиндр, и проталкивания его вперед по цилиндру. Производительность загрузочной зоны зависит от объема спирального канала V_n , см^3 , образованного поверхностями цилиндра и шнека:

$$V = [\pi(D^2 - d^2)/4](t - l),$$

где d - диаметр шнека, см.

При $d = D - 2h$

$$V = \pi h(D - h)(t - l).$$

Таким образом, загрузочная зона шнека будет тем больше забирать поступающего материала, чем больше диаметр шнека, глубина нарезки и шаг резьбы. Естественно, что чем больше производительность загрузочной зоны, тем выше общая производительность экструдера. Производительность экструдера зависит от природы пластмассы, формы загружаемого материала (гранулы, лента, порошок) и его плотности.

Глубина спирального канала в зоне загрузки $h > 2l_2$, где l_2 - максимальный размер гранулы перерабатываемого материала. Однако наличие большого свободного объема V в загрузочной зоне еще не может полностью определять ее производительность, так как движение твердого полимерного материала вдоль спирального канала возможно лишь в том случае, если трение материала о поверхность цилиндра будет намного больше, чем о поверхность шнека. В противном случае поступательное движение прекратится и исходный материал будет вращаться вместе со шнеком на одном месте. Это может происходить, например, в случае перегрева зоны загрузки и прилипания размягченного полимера к шнеку. Сила, заставляющая продвигаться материал вперед вдоль спирального шнека, зависит от коэффициентов трения материала о цилиндр и шнек, от угла подъема винтовой линии и глубины нарезки шнека:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{t}{\pi D}$$

или

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{t}{\pi D}.$$

Наилучшими считаются шнеки с углом подъема винтовой линии $\varphi = 17-18^\circ$, у которых шаг нарезки $t = D$, угол $\varphi = 17,5^\circ$. Наиболее распространены шнеки, у которых глубина нарезки и угол подъема винтовой линии являются величинами постоянными, а коэффициент трения полимерного материала о цилиндр и шнек зависит от перерабатываемого материала и температуры цилиндра и шнека.

Производительность транспортирующей зоны шнека Q , см³/мин:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 \operatorname{tg}^3 \varphi}{4} (F - \operatorname{tg} \rho T) \cdot n.$$

Здесь ρ - угол трения полимерного материала о металл ($\operatorname{tg} \rho = f$) (см. табл. 3.9); F и T - коэффициенты; n - частота вращения шнека, мин.

$$F = 4,6 \cdot \lg \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi} + (\cos^2 \varphi - \cos^2 \varphi_1);$$

$$T = \frac{\sin(\varphi_1 - \varphi)}{\sin \varphi \cdot \sin \varphi_1} + \cos(\varphi_1 + \varphi) + \sin(\varphi_1 - \varphi) \frac{\pi}{90};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{t}{\pi(D - 2h_1)},$$

где φ_1 - угол наклона винтовой линии по диаметру сердечника шнека;

h_1 - глубина спирального канала в загрузочной зоне шнека, см.

Таблица 3.9 - **Значение коэффициентов трения материала при комнатной температуре**

Полимер	Коэффициент трения	
	по полированной стали	по полимеру
Полиэтилен	0,15	По полиэтилену 0,1-0,25
Полистирол	0,3	По полистиролу 0,5
Полиамид 6.6	0,25-0,5	По полиамиду 0,25
ПВХ	0,5	По ПВХ 0,4-0,6

Для предотвращения преждевременного размягчения (расплавления) материала и налипания его на шнек температура в зоне загрузки должна быть ниже температуры размягчения перерабатываемого полимера.

Зона сжатия необходима для уплотнения материала, создания монолитной массы, обладающей значительно большей теплопроводностью, чем рыхлый, неуплотненный полимерный материал. Благодаря уплотнению, интенсивному механическому воздействию твердые гранулы быстрее расплавляются, причем не только за счет внешних источников тепла, но и в результате выделяющейся внутренней теплоты трения частиц. Уплотненный материал образует в зоне гомогенную свободную от пустот пластифицированную массу, которая поступает в следующую зону – дозирования. Сжатие материала в зоне может достигаться за счет уменьшения шага или в результате уменьшения глубины нарезки, что в обоих случаях приводит к уменьшению объема спирального канала. Уменьшение глубины нарезки в зоне сжатия ускоряет проплавление полимерного материала еще за счет уменьшения толщины слоя полимера, помещающегося в канале.

Длина зоны сжатия $L_{сж} = (1-15)D$ зависит от свойств перерабатываемого материала, в первую очередь от его термостабильности τ_T , поэтому желателен выбор соответствующего шнека для переработки конкретного материала. Так, при переработке термостабильных материалов, не боящихся быстрого сжатия и, следовательно, интенсивного механического и теплового воздействия, могут применяться шнеки с короткой зоной сжатия (обычно $L_{сж} = (1-4)D$). Если же перерабатываются материалы с малой термостабильностью, то $L_{сж} = \frac{L}{2}$, т.е. сжатие материала должно осуществляться постепенно. Давление расплава в конце зоны сжатия может достигать в зависимости от конструкции шнека, свойств материала и режима переработки: $P_{сж} = 15-20$ Мпа.

Зона дозирования предназначена для равномерного выдавливания (дозирования) пластифицированного и гомогенизированного полимерного материала в формующую головку. Поэтому в данной зоне должны быть постоянными шаг и глубина нарезки. Длина зоны дозирования $L_d = (3-7)D$ при общей длине применяемых шнеков - $L(16-25)D$. Основное влияние на производительность экструдера оказывает именно зона дозирования. Ее пропускная способность характеризует производительность машины. Производительность экструзионной машины Q может быть определена по формуле, кг/ч,

$$Q = 6 \cdot 10^{-2} k \cdot \rho_H \cdot m \cdot U \cdot n,$$

где k - коэффициент заполнения шнека; ρ_H - насыпная плотность гранул или порошка, г/см³; m - число заходов (обычно применяются однозаходные шнеки $m = 1$); n - частота вращения шнека, мин⁻¹.

Следует отметить, что верхняя граница скорости вращения шнека U , м/мин, ограничивается максимально допустимым для каждого полимерного материала диссипативным нагревом (для полиэтиленов и термостойких полимеров – 50 м/мин, для непластифицированного ПВХ, ПММА, АБС-пластика и других – 10-20 м/мин):

$$U = \pi D \cdot n.$$

Коэффициент заполнения шнека ($k = 0,15-0,5$) зависит от вида перерабатываемого материала (порошок, гранулы, волокна, пленка и т.д.), его сыпучести, слеживаемости, способности образовывать своды и зависать на стенках бункера. Для увеличения k и, следовательно, производительности экструдера нужно применять гранулированный материал ($\rho_n = 0,4-0,7 \text{ г/см}^3$), а питание машины осуществлять принудительно, с помощью различных питателей-уплотнителей.

Насыпная плотность ρ_n зависит от перерабатываемого материала, его вида и формы гранул. Например, с учетом формы гранул полиэтилена насыпная плотность будет изменяться:

Форма	$\rho_n, \text{ г/см}^3$
шарообразная	0,55
цилиндрическая	0,5
кубическая	0,44
произвольная (крошка)	0,3

Цилиндрические гранулы из полистирола имеют $\rho_n = 0,64 \text{ г/см}^3$. В современных экструдерах применяют шнеки длиной $L = (15-35)$ и диаметром D , равным 32; 45; 63; 90; 160; 200 мм. Частота вращения шнеков $n = 10-400 \text{ мин}^{-1}$.

Рассчитанная по формуле производительность экструдера зависит от частоты вращения шнека. Однако в действительности качество готовой продукции и производительность экструзионного процесса во многом зависят от технологических параметров: температуры по зонам цилиндра и головки, давления в цилиндре, вязкости материала в процессе переработки и времени пребывания его в цилиндре.

3.5.1.2. Расчет технологических параметров процесса экструзии

Принципиальная схема одночервячного экструдера показана на рис. 3.18.

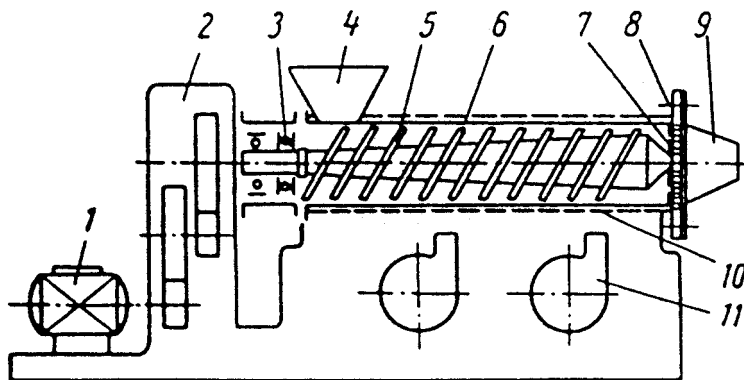


Рис. 3.18 – Одночервячный экструдер для переработки термопластов

Вращаемый двигателем 1 через редуктор 2 червяк 5 захватывает материал в виде гранул, порошка, крошки, ленты или расплава из загрузочной воронки бункера 4, перемешивает его, пластицирует, сжимает и перемещает по винтовому каналу вдоль цилиндра 6. Червяк обеспечивает также гомогенизацию расплавленного термопласта и его выдавливание через фильтрующие сетки 7 и решетки 8, а также профилирующую головку 9. Цилиндр разделен на несколько зон автономного автоматического контроля и регулирования температуры. Каждая зона подключена к системам обогрева и охлаждения. Нагреватели закрыты кожухом 10. Для охлаждения зон цилиндра применяют воздушное и водяное охлаждение. Осевые усилия, возникающие при вращении червяка, воспринимаются упорным подшипником 3.

Нагнетающее действие червяка зависит от скорости его вращения, угла подъема винтовой линии и коэффициентов трения материала о стенки цилиндра и поверхность червяка. Эти коэффициенты зависят главным образом от перерабатываемого материала и температуры поверхности цилиндра и червяка. Наиболее эффективно материал нагнетается червяком при максимальном трении материала о стенки цилиндра и минимальном трении о поверхность червяка. Для уменьшения трения материала о поверхность червяка последний иногда охлаждают водой, однако чрезмерное охлаждение червяка снижает температуру экструдруемого материала, уменьшает развиваемое червяком давление и производительность экструдера.

Перегрев цилиндра отрицательно сказывается также на процессе экструзии, так как вызывает термическую деструкцию прилегающих к поверхности цилиндра слоев материала, а повышение температуры загрузочной зоны цилиндра может вызвать сплавление материала, в связи с чем уменьшатся захватывание и подача материала начальными витками червяка. Поэтому загрузочную зону цилиндра обычно охлаждают циркулирующей водой. Процесс экструзии зависит от температуры цилиндра в различных зонах и температуры червяка, которые необходимо автоматически регулировать.

В обычном червячном экструдере термопласт проходит через три состояния: твердое, смесь твердого материала с расплавом и расплавленное. В червяках дозирующего типа, состоящих из зон питания, сжатия и дозирования (выдавливания), проще анализировать зону дозирования, поскольку к течению пластифицированного материала в этой зоне применимы гидродинамические законы вязких жидкостей. Обычно дозирующая зона определяет производительность червячного экструдера.

На рис. 3.19, *а* показана схема цилиндра с двухзаходным червяком. По конструктивным соображениям на большинстве экструдеров предусматривается вращение червяка при неподвижном цилиндре, но для удобства предполагаем, что вращается цилиндр при неподвижном червяке. При этом вдоль оси червяка перемещается в основном материал, который стремится «вращаться» вместе с цилиндром, а не тот материал, который прилипает к червяку.

Положительные направления осей x , y , z неподвижной системы координат и вспомогательной оси l отмечены стрелками. Ось y перпендикулярна к плоскости разреза, ось z направлена вдоль, а ось x – поперек винтового канала, ось l – вдоль

оси червяка. Угол подъема винтовой линии канала φ увеличивается от минимального его значения на наружном диаметре до максимального значения у сердечника червяка. Угол φ определяется зависимостью

$$\varphi = \frac{\operatorname{arctg} t}{\pi D_x},$$

где D_x – переменный диаметр канала; t – шаг нарезки червяка.

В дальнейшем для упрощения учитывается только минимальное значение угла подъема, соответствующее наружному диаметру червяка, так как для червяков с небольшой глубиной винтового канала углы подъема отличаются незначительно. Если пренебречь кривизной канала, его можно развернуть на плоскость (рис.3.19, б). При этом цилиндр экструдера изображается в виде бесконечной плоскости 3, движущейся под развернутыми каналами 1 и ребрами 2 червяка в перпендикулярном к оси 4 червяка направлении. Окружную скорость цилиндра V_{ω} можно разложить на две взаимно перпендикулярные составляющие V_z и V_x , направленные вдоль и поперек канала червяка. Скорость расплава в любой точке винтового канала характеризуется аналогичными компонентами v_z и v_x . Наличие скорости поперечного сечения v_x и соблюдение условия неразрывности потока вызывает течение в направлении оси y со скоростью v_y . Эта скорость больше у передней и задней стенок канала, где текущий в поперечном направлении расплав изменяет направление течения. Поскольку компонент скорости v_y возникает только вследствие изменения скорости v_x поперечного течения, влияние v_y на производительность можно не учитывать. Поэтому в дальнейших расчетах принимаем, что $v_y = 0$.

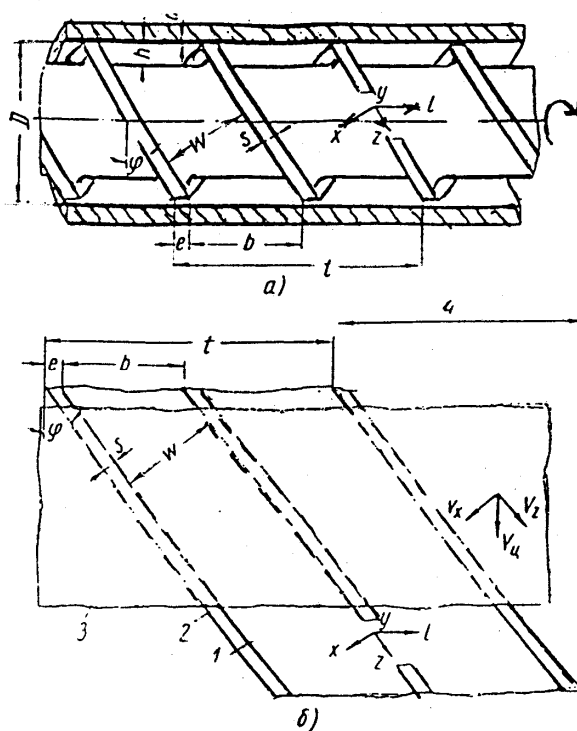


Рис. 3.19 – Участок цилиндра экструдера с двухзаходным червяком:

а – общий вид; б – развернутая плоская схема

Значение поступательной скорости v_z и поперечной скорости v_x в процессе экструзии различное, поэтому их влияние на течение расплава рассматриваем независимо друг от друга.

Объемное уравнение производительности червячного экструдера может быть получено из уравнения интегрированием произведения скорости на элементарный участок площади в пределах всего поперечного сечения винтового канала червяка:

$$Q = \int_0^h v \varpi \, dy ;$$

$$Q = \varpi \int_0^h \left[\left(\frac{V_z y}{h} + \frac{(y^2 - hy)}{2\mu} \times \left(\frac{dp}{dz} \right) \right) \right] dy ;$$

$$Q = \frac{V_z \varpi h}{2} + \frac{\varpi h^3}{12\mu} \times \left(\frac{dp}{dz} \right) ,$$

где Q – объемная производительность;

h – глубина винтового канала;

v – скорость частицы массы в винтовом канале в точке x, y ;

ϖ – ширина винтового канала;

V_z – составляющая окружной скорости вдоль винтового канала;

V_u – окружная скорость цилиндра относительно червяка:

$$V_u = \pi D n .$$

Работа червячного экструдера зависит не только от червяка, но и от профилирующей головки (фильеры). На рис. 3.20 показана зависимость производительности от давления в головке для трех червяков, отличающихся длиной зоны выдавливания при следующих условиях: расплав является ньютоновской жидкостью, вязкость расплава и скорость вращения червяков одинаковые, процесс изотермический.

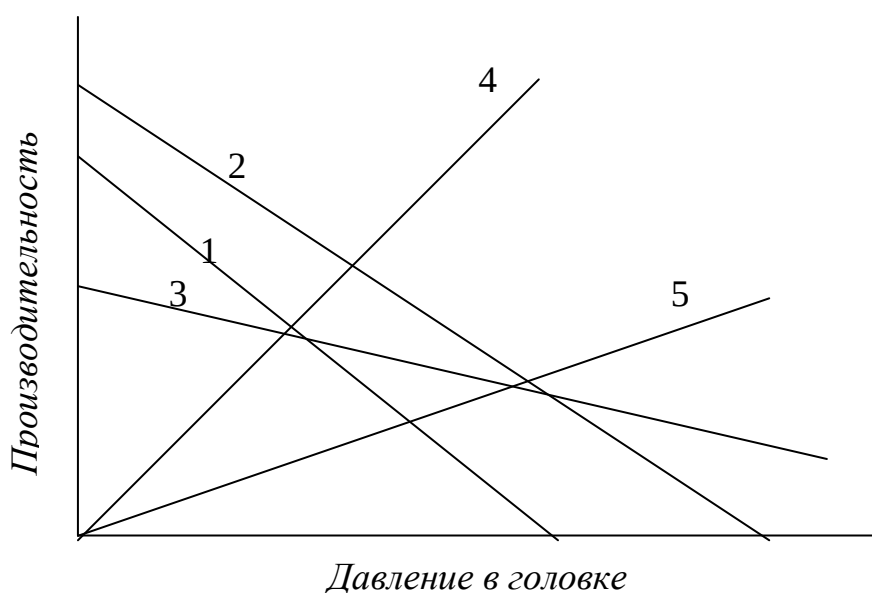


Рис. 3.20 – Зависимость объемной производительности экструдера от давления в профилирующей головке

Прямые 4 и 5 характеризуют головки с профилирующей щелью небольшого и большого сечения.

Производительность червяка 1 с короткой и глубокой зоной выдавливания при свободном выходе без давления очень высокая, так как величина прямого потока пропорциональна глубине каналов и резко уменьшается при повышении давления в головке в связи со значительным ростом обратного потока через короткие каналы большого сечения.

При одинаковой с червяком 1 глубине канала и длинной зоне выдавливания производительность червяка 2 при выходе материала из головки такая же, как у червяка 1. С повышением сопротивления головки и давления расплава производительность уменьшается незначительно, поскольку с увеличением длины каналов растет и сопротивление обратному потоку. Производительность червяка 3 с неглубокой и длинной зоной выдавливания меньше, чем у червяков 1 и 2 при свободном выходе материала, и менее чувствительна к изменению сопротивления головки и давления расплава.

С повышением давления расплава его расход через головку увеличивается быстрее при большом сечении головки 4, чем при небольшом (головка 5). Точки пересечения характеристик червяков и головок определяют объемную производительность, которую обеспечивает данное сочетание червяка и головки.

3.5.1.3. Расчет геометрических параметров и размеров шнеков

1. *Конструирование шнеков.* Шнек – один из основных рабочих узлов экструдера и литьевой машины. Он обеспечивает пластикацию полимера и подачу его в форму. Геометрия шнека (профиль) характеризуется соотношением размеров (длин) отдельных зон, отношением длины шнека к его диаметру, шагом нарезки шнека, глубиной канала шнека в различных его зонах, степенью сжатия. Специализация шнеков по типам перерабатываемых полимеров целесообразна, когда каждая машина используется для переработки определенного полимера. В этом случае достигаются наилучшие условия пластикации и максимальная производительность машины.

Свойствами полимеров, определяющими профиль шнека, являются характер перехода в вязкотекучее состояние (определяет соотношение длины зон загрузки и пластикации), термостабильность и чувствительность к сдвиговым напряжениям (определяют межвитковый объем и степень сжатия). По этим признакам полимеры можно разделить на три группы. Для каждой из групп применяют специальный шнек.

Полимеры этой группы легко перерабатываются. Это обусловлено тем, что они имеют плавный переход в вязкотекучее состояние, плавное температурное изменение вязкости в широком температурном интервале и хорошую термостабильность при температурах переработки. К ним относят полистирол и его сополимеры, поликарбонат, полиметилметакрилат, полисульфон, полиэтилен и другие полимеры. Полимеры этой группы не предъявляют особых требований к конструкции инжекционных узлов, выходящих за пределы общих рекомендаций: обработка деталей по II качеству, отсутствие резких переходов и застойных зон и др.

Основной признак полимеров второй группы – резкий переход в вязкотекучее состояние (полиамиды, полипропилен и др.). Это обуславливает специфические конструктивные особенности профиля шнека – сравнительно длинную зону загрузки, чтобы полимер в твердом состоянии не попал в зону пластикации, и сравнительно короткую зону пластикации (уплотнения).

К третьей группе относят полимеры с низкой термостабильностью и полимеры, термостабильность которых чувствительна к сдвиговым напряжениям (полиформальдегид, поливинилхлорид непластифицированный и др.). К этой группе принадлежат также термореактивные материалы. Поскольку преобладающее свойство полимеров этой группы – низкая термостабильность, шнеки для их переработки должны иметь малый межвитковый объем и малую степень сжатия, чтобы материал в них подвергался суммарным сдвигам.

Объем одного витка в зоне дозирования составляет

$$v'_0 = \frac{\pi D^3 \cdot (k_2/k_5) \cdot (k_3 - k_4) [(1 - k_2/k_5)^2 + (k_3/\pi)^2]^{1/2}}{[1 + (k_3/\pi)^2]^{1/2}}. \quad (3.10)$$

При расчете объема одного витка шнека в зоне пластикации принимают высоту канала, равную полусумме высот каналов в зоне загрузки и дозирования. Тогда объем одного витка шнека в зоне пластикации будет

$$v'_n = \pi D^3 \cdot k_2 (k_3 - k_4) \left[1 + \left(\frac{1}{k_5} \right) \left\{ [1 - 0,5k_2(1 + k_5^{-1})]^2 \right\}^{1/2} \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{k_3}{\pi^2} \right) \right]^{-1/2}. \quad (3.11)$$

Для упрощения формул (3. 10), (3. 39) вводят расчетные коэффициенты k_a , k_δ , k_ϵ , k_z и C_1 , C_2 , C_3 :

$$\begin{aligned} k_a &= \left[1 + \left(\frac{k_3}{\pi} \right)^2 \right]^{-1/2}; \\ k_\delta &= \pi (1 - k_2)^2 + \left(\frac{k_3}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2}; \\ k_\epsilon &= 0,5\pi \left\{ [1 - 0,5k_2(1 + k_5^{-1})]^2 + \left(\frac{k_3}{\pi} \right)^2 \right\}^{1/2}; \\ k_z &= \pi \left[\left(1 + \frac{k_2}{k_5} \right)^2 + \left(\frac{k_3}{\pi} \right)^2 \right]^{1/2}; \\ C_1 &= k_2 (k_3 - k_4) k_a k_\delta; \\ C_2 &= k_2 (k_3 - k_4) (1 + k_a^{-1}) k_a k_\epsilon; \\ C_3 &= k_2 (k_3 - k_4) k_a \frac{k_z}{k_\delta}. \end{aligned}$$

Тогда формулы (3.39), (3.10), (3.11) можно записать в виде

$$v'_3 = D^3 C_1; \quad v'_n = D^3 C_2; \quad v'_\delta = D^3 C_3.$$

На рис. 3.21 приведены графические зависимости между коэффициентами, определяющими геометрические параметры шнека (k_2 , k_3 , k_5), и коэффициентами k_a , k_δ , k_ϵ , k_z . Этими графиками можно пользоваться для расчета объема межвиткового пространства шнека. Для графического расчета объема одного витка шнека удобно пользоваться величиной $(v')^2 / D^6$. Формула (3.38) после преобразования и введения величин

$$A = \frac{(\pi^2 + k_3^2)}{\pi^2}; \quad B = \frac{(\pi^2 + k_3^2)^{0,5}}{[\pi^3 (k_3 - k_4)^2]},$$

принимает вид

$$(v')^2 / D^6 = \frac{(k_2^4 - 2k_2^3 + A k_2^2)}{B}. \quad (3.12)$$

Коэффициент $k_2 = \frac{h}{D}$ является функцией отношения $(v')^2 / D^6$. Она может быть выражена графически. На рис. 3.22 эта зависимость представлена для различных значений коэффициентов k_3 и k_4 .

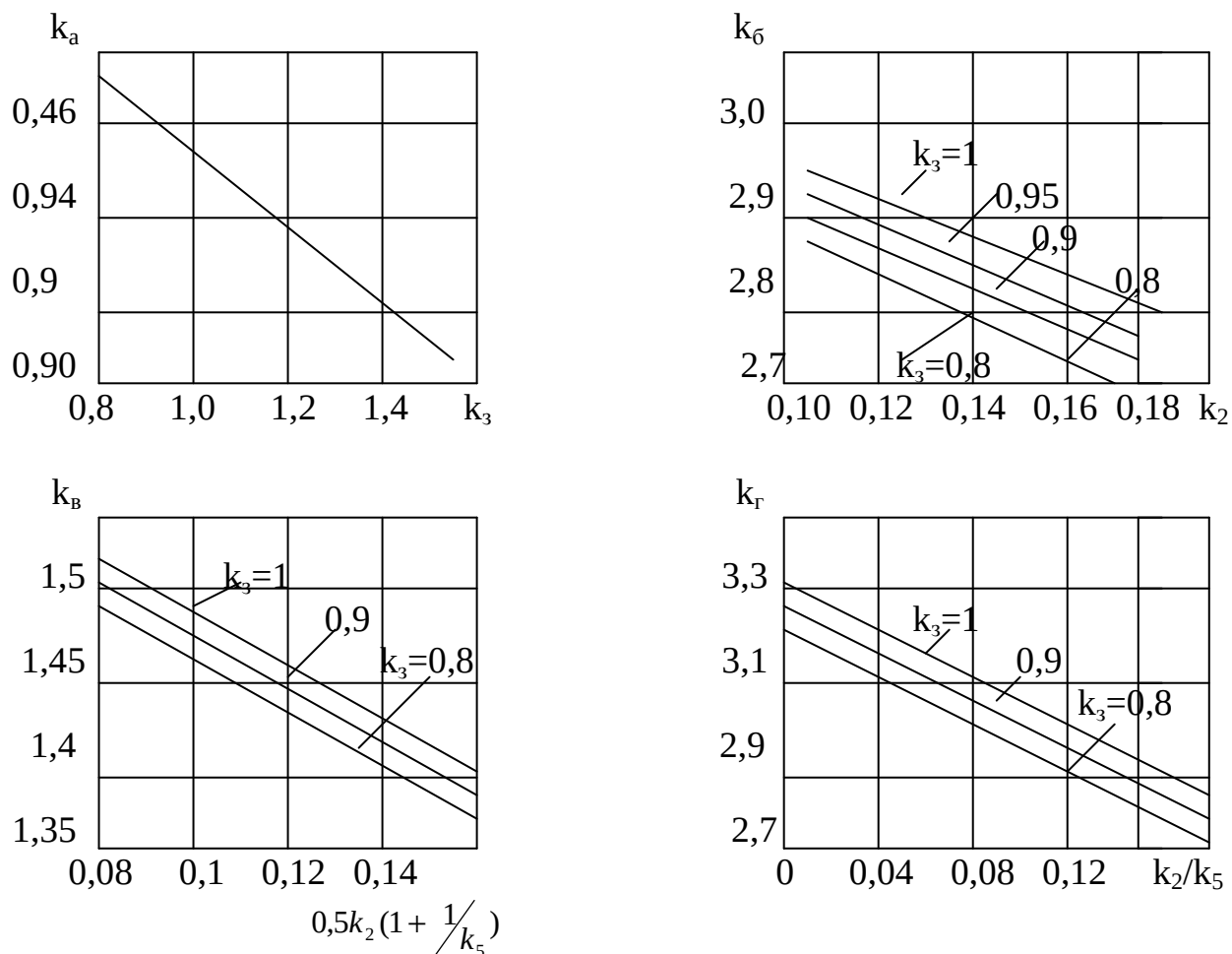


Рис. 3.21 – Зависимости между коэффициентами, определяющими геометрические параметры шнека

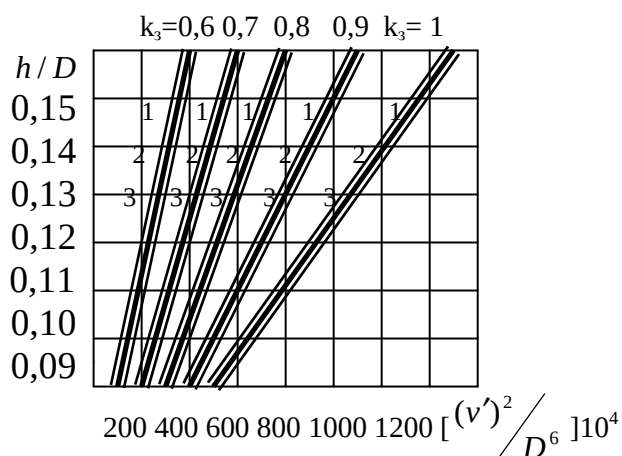


Рис. 3.22 – Зависимость между диаметром шнека D , глубиной канала h и объемом одного витка v' : 1) $k_4 = 0,14$; 2) $k_4 = 0,13$; 3) $k_4 = 0,12$

Для расчета профиля шнека исходными величинами являются следующие параметры и коэффициенты: номинальный объем впрыска за цикл v_n , диаметр шнека D (расчет см. ниже); длина шнека L (выбирают по табл. 3.12), степень сжатия i (выбирают по табл. 3.12), количество полимера (по объему) по всей длине

шнека L , характеризующееся коэффициентом k_6 - отношением общего количества полимера в шнеке к расчетному объему отливки; количество полимера (по объему) в каждой зоне шнека, характеризующееся коэффициентами k_7, k_8, k_9 - отношениями объемов полимера в зонах загрузки, пластикации и дозирования к расчетному объему отливки; коэффициенты полимеров межвиткового пространства шнека в каждой зоне $\gamma_3, \gamma_n, \gamma_d$.

Значения коэффициентов k_6, k_7, k_8, k_9 и $\gamma_3, \gamma_n, \gamma_d$ для шнеков различной геометрии в соответствии с тремя группами полимеров (см. табл. 3.12) приведены в табл. 3.10. По этим данным определяют основные геометрические параметры шнека: длину отдельных зон и глубину каналов шнека в зонах загрузки и дозирования. Длина шнека, выбранная по табл. 3.12, является общей $L_{\text{общ}}$. Эффективная длина шнека $L_{\text{эф}}$ меньше его общей длины на величину хода шнека $H_{\text{ш}}$:

$$L_{\text{эф}} = L_{\text{общ}} - H_{\text{ш}} = L_{\text{общ}} - k_1 \pi. \quad (3.13)$$

Значения коэффициентов в табл. 3.10 даны для эффективной длины шнека.

Для проведения дальнейших расчетов удобнее пользоваться числом витков в шнеке, тогда формула (3.13) примет вид

$$L_{\text{эф}} = (z_{\text{общ}} - z_{\text{ход}}) a_s = z_{\text{эф}} a_s.$$

Таблица 3.10 – Коэффициенты расчета профиля шнека

Коэффициент	Группа полимеров (табл. 3.12)		
	первая	вторая	третья
k_6	3-5	2-3	1,5-2,5
k_7	1,2-2	1-1,5 Термопласт 0,5	Реактопласт 1,5-2,5
k_8	0,8-1,5	0,3-0,5 1-2	-
k_9	1-1,5	0,5-1 -	-
γ_3	0,6	0,5	0,5
γ_n	0,8	0,8 0,8-1	0,7-0,8
γ_d	1	1 -	-
Среднее	-	0,7-0,8 -	-

Общий объем полимера в межвитковом пространстве по всей длине шнека $v_{\text{шм}}$ и объем полимера в зонах загрузки $v_{\text{зм}}$, пластикации $v_{\text{пм}}$ и дозирования $v_{\text{дм}}$ составляют

$$v_{\text{шм}} = v_p \cdot k_6 = v_n k \cdot k_6; \quad v_{\text{зм}} = v_n k \cdot k_7;$$

$$v_{nm} = v_n k \cdot k_8;$$

$$v_{\partial m} = v_n k \cdot k_9;$$

где $k_6 = k_7 + k_8 + k_9$.

Объем полимера в каждой зоне шнека ($v_{zm}, v_{nm}, v_{\partial m}$) можно выразить через объем одного витка шнека (v'_3, v'_n, v'_∂), число витков (z_3, z_n, z_∂) и коэффициент загрузки полимером зоны шнека ($\gamma_3, \gamma_n, \gamma_\partial$):

$$v_{zm} = v_n k \cdot k_7 = v'_3 (z_3 - z_{xod}) \gamma_3, \quad (3.14)$$

$$v_{nm} = v_n k \cdot k_8 = v'_n z_n \gamma_n, \quad (3.15)$$

$$v_{\partial m} = v_n k \cdot k_9 = v'_\partial z_\partial \gamma_\partial, \quad (3.16)$$

Объем полимера в зоне загрузки рассчитывается для случая, когда шнек находится в отведенном на величину хода положении.

Из формул (3.14), (3.15), (3.16) следует

$$z_3 - z_{xod} = \frac{v_n k \cdot k_7}{(v'_3 \gamma_3)}, \quad z_3 = \left[\frac{v_n k \cdot k_7}{v'_3 \gamma_3} \right] + z_{xod}; \quad (3.17)$$

$$z_n = \left[\frac{v_n k \cdot k_8}{v'_n \gamma_n} \right]; \quad (3.18)$$

$$z_\partial = \left[\frac{v_n k \cdot k_9}{v'_\partial \gamma_\partial} \right]; \quad (3.19)$$

Общее число витков шнека составляет:

$$z_{\text{общ}} = z_3 + z_n + z_\partial = z_{\text{эф}} + z_{xod},$$

откуда

$$z_{\text{эф}} = z_3 - z_{xod} + z_n + z_\partial = \frac{v_n k \cdot k_7}{v'_3 \gamma_3} + \frac{v_n k \cdot k_8}{v'_n \gamma_n} + \frac{v_n k \cdot k_9}{v'_\partial \gamma_\partial};$$

$$z_{\text{эф}} = v_n k \cdot \left[\frac{k_7}{v'_3 \gamma_3} + \frac{k_8}{v'_n \gamma_n} + \frac{k_9}{v'_\partial \gamma_\partial} \right]. \quad (3.20)$$

Объемы одного витка в различных зонах с учетом степени сжатия связаны между собой зависимостями

$$v'_\partial = \frac{v'_3}{i}; \quad (3.21)$$

$$v'_n \approx 0,5(v'_3 + v'_\partial) \approx 0,5(1+i^{-1})v'_3. \quad (3.22)$$

Выразим число витков для каждой зоны шнека через объем одного витка в зоне загрузки и степень сжатия. Тогда формулы (3.17), (3.18), (3.19) приобретают вид:

$$z_3 = \frac{v_n k \cdot k_7}{v_3 \gamma_3} + z_{\text{ход}}; \quad (3.23)$$

$$z_n = \frac{v_n k \cdot k_8}{0,5v_3 \gamma_n (1+i^{-1})}; \quad (3.24)$$

$$z_\partial = \frac{v_n \cdot k_9 \cdot i}{v_3 \gamma_\partial}. \quad (3.25)$$

Подставляя значения v'_n и v'_∂ в формулы (3.20), (3.21), (3.22), получим

$$z_{\text{эф}} = v_n k \left\{ \frac{k_7}{\gamma_3} + \frac{k_8}{\gamma_n 0,5(1+i^{-1})} + \frac{k_9 i}{\gamma_\partial} \right\} / v'_3. \quad (3.26)$$

Решая это уравнение относительно v'_3 , находим объем одного витка шнека в зоне загрузки:

$$v'_3 = v_n k \left\{ \frac{k_7}{\gamma_3} + \frac{k_8}{\gamma_n 0,5(1+i^{-1})} + \frac{k_9 i}{\gamma_\partial} \right\} / z_{\text{эф}}.$$

В правую часть этого выражения входят все известные величины, по которым можно определить v'_3 . По значению v'_3 находят число витков в каждой зоне по формулам (3.23), (3.24), (3.25).

Глубину канала шнека в зоне загрузки h определяют по формуле (3.12) или по рис. 3.22, используя зависимость между $(v'_3)^2 / D^6$ и h_1 / D . Зная объем одного

витка шнека в зоне загрузки и степень сжатия i , находят объем одного витка в шнека в зоне дозирования:

$$v_{\partial}' = \frac{v_3'}{i}.$$

Из отношения $(v_3')^2 / D^6$ определяют h_2 / D , а затем h_2 - глубину канала в зоне дозирования.

По объему межвиткового пространства шнека $v_{ш}$ находят продолжительность пребывания полимера в цилиндре при температуре переработки. Эту продолжительность t_{np} с учетом продолжительности цикла литья $t_{ц}$ можно приблизительно оценить числом отливок (по номинальному объему впрыска за цикл), находящихся в цилиндре:

$$t_{np} = \frac{v_{шм} t_{ц}}{v_n k} = \frac{v_{ш} \gamma \cdot t_{ц}}{v_n k}.$$

Максимально возможная продолжительность пребывания полимера $t_{np_{max}}$ при повышенной температуре не должна превышать периода его термостабильности: $t_{np_{max}} \leq t_{ст}.$

Пользуясь этим соотношением, можно установить межвитковый объем шнека для различных полимеров:

$$v_{ш} = \frac{v_n k \cdot t_{ст}}{\gamma t_{ц}}.$$

Предложенный метод расчета можно использовать также для определения общей длины шнека, если задать глубину канала. В этом случае рассчитывают рабочую длину шнека $L_{общ}$ и длину каждой зоны l_3, l_n, l_{∂} . Из отношения h/D определяют $(v_3')^2 / D^6$ (по рис. 3.22) и значение объема одного витка в зоне загрузки v_3 . По формуле (3.26) находят значение эффективного числа витков шнека $Z_{эф}$, эффективную $L_{эф} = Z_{эф} a_в$ и рабочую (общую) $L_{общ} = (Z_{эф} + Z_{ход}) a_в$ длину шнека. Затем определяют число витков в каждой зоне по формулам (3.23), (3.24), (3.25) и длину каждой зоны.

2. Расчет диаметра шнека по условиям обеспечения заданных параметров литья.

Диаметр шнека рассчитывают из условий обеспечения заданных объема впрыска за цикл v_n (номинального), пластикационной способности q_{nl} и номинального давления литья P_d . Расчет диаметра шнека проводят в следующей последовательности. Рассчитывают объем полимера v_p , подготовленного в шнековом пластификаторе к впрыску:

$$v_p = v_n \cdot k, \quad (3.27)$$

где k - коэффициент, учитывающий утечки и сжатия полимера при впрыске (табл. 3.11).

Расчетный объем полимера v_p равен объему цилиндрической камеры, находящейся перед шнеком диаметром D при ходе шнека H_u :

$$v_p = \frac{\pi D_1^2 H_u}{4} = \frac{\pi D_1^2 \cdot D_1 \cdot k_1}{4} = \frac{\pi D_1^3 \cdot k_1}{4}, \quad (3.28)$$

где k_1 - отношение хода шнека к диаметру $\frac{H_u}{D_1}$ (см. табл. 3.11). Из формул (3.27) и (3.28) получаем отношение для расчета диаметра шнека D_1 , обеспечивающего требуемый объем впрыска за цикл v_n :

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{v_n \cdot k}{0,785}}. \quad (3.29)$$

Таблица 3.11 - Расчетные коэффициенты для определения геометрии шнека

Расчет- ный коэф- фициент	Объем впрыска за цикл $v \cdot 10^6, \text{ м}^3$						
	16	32	63	125	250	500	1000
k	1,2	1,25	1,25	1,3	1,3	1,35	1,35
k_1	1,5-1,6	1,7-2	1,7-2	2-2,25	2-2,25	2,5-3	2,5-3
k_2	0,13-0,18	0,13-0,18	0,13-0,16	0,125-0,15	0,125-0,14	0,12-0,13	0,11-0,12
k_3	0,8-1,0 (большие значения для больших значений L/D)						
k_4	0,08-0,13 (большие значения для меньших значений L/D)						

Диаметр шнека из условий обеспечения пластикационной способности можно рассчитывать по эмпирической формуле

$$q_{nl} = (0,7-1,4)(D_2 \cdot 10^2)^{2,5}, \quad (3.30)$$

где D_2 - диаметр шнека, определяемый из условий обеспечения заданной пластикационной способности.

Для расчета диаметра шнека D_3 из условия обеспечения заданного давления литья P_d , давления $P_{с0}$ в гидросистеме и диаметра шнека D_1 и D_2 определяют диаметр поршня гидроцилиндра:

$$D_n = \sqrt{\frac{P_n D^2}{P_{\text{сд}}}}. \quad (3.31)$$

Диаметр D_n корректируют по стандартному ряду диаметров. По найденному значению D_n определяют диаметр шнека D_3 :

$$D_3 = \sqrt{\frac{P_{\text{сд}} D_n^2}{P_n}}. \quad (3.32)$$

По полученным значениям D_1, D_2, D_3 устанавливают номинальный диаметр шнека D_n - наибольшее из трех значений диаметров, скорректированное по стандартному ряду.

Определяют фактическое давление литья при номинальном диаметре шнека D_n и диаметре поршня D_n :

$$P_{\phi} = \frac{P_{\text{сд}} \cdot D_n^2}{D_n^2}. \quad (3.33)$$

Ход шнека H_n при расчетном диаметре D_n уточняют по выражению

$$H_n = \frac{4 \cdot v_p}{\pi \cdot D_n^2}. \quad (3.34)$$

3. Расчет профиля шнека. Геометрия шнека (профиль) определяет объем полимера, находящийся в его межвитковом пространстве. Объем полимера, который может находиться в шнеке, зависит от его термостабильности (возможной продолжительности пребывания при температуре переработки). При впрыске в форму подается только часть полимера, которая находится перед шнеком. Остальной материал, находящийся в межвитковом пространстве шнека, остается в цилиндре и подвергается воздействию высокой температуры в течение двух-трех циклов, что может вызвать термодеструкцию нетермостабильных полимеров. Поэтому объем полимера, находящийся в межвитковом пространстве шнека, должен быть ограничен. Он определяется геометрическими параметрами шнека (диаметром, шагом, шириной витка, глубиной канала, длиной каждой зоны, числом витков). Общий объем межвиткового пространства шнека $v_{\text{ш}}$ равен сумме объемов межвиткового пространства каждой его зоны:

$$v_{\text{ш}} = v_z + v_n + v_d = v'_z z_z + v'_n z_n + v'_d z_d, \quad (3.35)$$

где v_z, v_n, v_d - объем межвиткового пространства шнека в зонах загрузки, пластикации и дозирования; v'_z, v'_n, v'_d - объем одного витка в зонах загрузки, пластикации (условный) и дозирования; z_z, z_n, z_d - число витков в каждой зоне.

$$D_{\text{ср}} = D - h, \quad (3.36)$$

$$D_{cp} = \frac{D + D_{вн}}{2}, \quad (3.37)$$

Объем одного витка можно рассчитать по следующим параметрам шнека: диаметру D , шагу a_ϵ , глубине h и ширине канала ϵ , углу наклона винтовой линии α . Объем витка шнека v' равен объему развернутой пластины длиной $L = [a^2 \epsilon + (\pi D_{cp})^2]^{\frac{1}{2}}$ и ширине $B = (a_\epsilon - \epsilon) \cos \alpha$ и высотой $H = h$:

$$\begin{aligned} v' &= L \cdot B \cdot H = [a^2 \epsilon + \pi^2 (D - h)^2]^{\frac{1}{2}} (a_\epsilon - \epsilon) \cos \alpha \cdot h = \\ &= [a^2 \epsilon + \pi^2 (D - h)^2]^{\frac{1}{2}} (a_\epsilon - \epsilon) \cdot h / (1 + \tan^2 \alpha)^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (3.38)$$

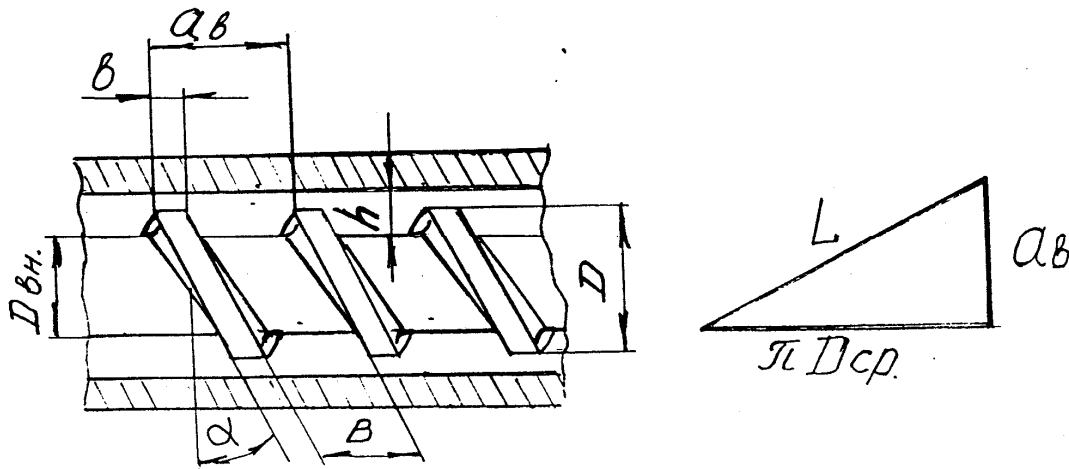


Рис. 3.23 – Схема канала шнека

Основные геометрические параметры шнека можно выразить через коэффициенты k_2, k_3 и k_4 : k_2 - отношение глубины канала шнека в зоне загрузки к диаметру (h/D); k_3 - отношение шага шнека к диаметру a_ϵ/D ; k_4 - отношение ширины витка канала шнека к диаметру ϵ/D . Значения коэффициентов для различных объемов впрыска за цикл приведены в табл. 3.11.

Заменяя отношения геометрических параметров шнека в формуле (3.38) коэффициентами, получаем объем одного витка шнека в зоне загрузки:

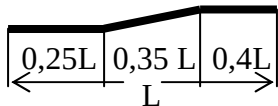
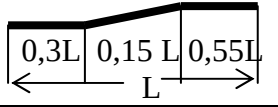
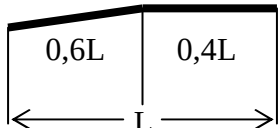
$$v'_3 = \pi D^3 \cdot k_2 (k_3 - k_4) [(1 - k_2)^2 + (k_3/\pi)^2]^{\frac{1}{2}} / [1 + (k_3/\pi)^2]^{\frac{1}{2}}, \quad (3.39)$$

где $k_3/\pi = \tan \alpha = a_\epsilon/\pi D$.

Аналогично находим объем полимера в зоне дозирования. Глубину канала в этой зоне принимаем равной h/k_5 , где k_5 - отношение глубины канала в зоне

загрузки к его глубине в зоне дозирования; k_5 приближенно определяем по степени сжатия шнека (выбираем по табл. 3.12) для соответствующих полимеров).

Таблица 3.12 – **Параметры шнека**

Группа полимеров	Шнек			Наконечник шнека
	Общая длина и соотношение длин зон	Отношение общей длины к диаметру	Степень сжатия i	
Первая		11-15 (до 18)	2,5-3	С клапаном и без клапана (торпедной конструкции)
Вторая		13-18 (до 25)	2-2,5	С клапаном
Третья		15-18 (для термопластов)	1,5-2 (для термопластов)	Конический с углом 20-30 °
		12-16 (для реактопластов)	0,8-1 (для реактопластов)	Конический с углом 40-60 °

3.5.1.4. Производительность двухшнекового экструдера

Двухшнековые экструдеры, имеющие специальные профили для смешивания и перетирания материалов, несовмещенные шнеки обеспечивают лучшее смешивание термопластичных материалов с различными наполнителями, модификаторами и добавками, что особенно важно при изготовлении композиционных материалов. Эти экструдеры предназначены также для изготовления изделий из непластифицированного и пластифицированного ПВХ и их сополимеров, для изготовления профильных изделий не только из гранулированного, но и порошкового материала благодаря тому, что зона загрузки их имеет большую вместимость, чем зона сжатия. Это позволяет обеспечить хорошую заполняемость цилиндра порошкообразным материалом.

Кроме того, в процессе переработки на двухшнековых экструдерах осуществляется хорошее удаление из материала влаги и различных летучих, обеспечивается равномерное окрашивание и диспергирование пигментов. Двухшнековые экструдеры с совмещенными шнеками и постоянным шагом нарезки, с одним укороченным шнеком не обладают достаточным смесительным эффектом, так как условия течения расплава в них близкие к условию работы одношnekовых.

Максимальная производительность двухшнекового экструдера Q , кг/ч без учета свойств перерабатываемого материала может быть приближенно рассчитана по формуле

$$Q = 3,64 \cdot 10^{-2} D^2, \quad (3.40)$$

где D - диаметр шнеков, мм.

Установленная мощность привода N , кВт,

$$N = 5,25 \cdot 10^{-3} D^{1,84}. \quad (3.41)$$

Приближенно реальную производительность двухшнекового экструдера, учитывающую некоторые технологические и конструктивные параметры переработки, можно рассчитать следующим образом:

$$Q = Q_n - Q_{ym}. \quad (3.42)$$

Здесь Q_n - величина прямого потока, кг/ч,

$$Q_n = 6 \cdot 10^{-5} \cdot k \cdot \rho \cdot \lambda \cdot V \cdot n; \quad (3.43)$$

Q_{ym} - величина условного потока утечки, кг/ч,

$$Q_{ym} = \frac{(2\pi - \alpha') D \delta^3 \operatorname{tg} \varphi \Delta P}{(12 \eta \epsilon_y)}, \quad (3.44)$$

k - коэффициент заполнения шнеков; ρ - насыпная плотность материала, кг/м³; λ - число заходов (обычно применяют однозаходные шнеки), равная 1; n - частота вращения шнеков, мин⁻¹; V - объем свободного пространства на длине одного витка, см³:

$$V = (\pi D \operatorname{tg} \varphi - l) [\pi (D - h) h - F_{\text{сomp}}]. \quad (3.45)$$

$F_{\text{сomp}}$ - площадь сопряжения витков, см²:

$$F_{\text{сomp}} = \frac{\alpha'}{2} (D - h) h, \quad (3.46)$$

α' - угол, определенный по формуле, рад:

$$\cos \alpha' = 1 - \frac{2h}{D - h} + \frac{h^2}{2(D - h)^2}. \quad (3.47)$$

Тогда

$$Q_{ym} = \frac{(2\pi - \alpha') D \delta^3 \operatorname{tg} \varphi \Delta P}{(12 \eta \epsilon_y)}, \quad (3.48)$$

где ϵ_y - условная ширина гребня витка, см:

$$\epsilon_y = l + h \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.49)$$

l - наименьшая ширина нарезки шнека, см; φ - угол наклона спиральной линии шнека.

Технические характеристики двухшнековых экструдеров приведены в табл. 3.13.

Таблица 3.13 – Технические характеристики двухшнековых экструдеров

Условное обозначение	Производительность, кг/ч	Частота вращения червяка, мин ⁻¹	Установленная мощность		Число температурных зон
			двигателя	нагревателей	
ЧП 2-45х12	40	5-25	-	-	2
ЧП 2-45х15	40-53	10-50	3,2	4	3
ЧП 2-63х12	80	4-20	-	-	3
ЧП 2-63х15	80-100	8-40	8	7	4
ЧП 2-90х12	150	3-15	-	-	4
ЧП 2-90х15	150-200	6-30	12	12,8	5
ЧП 2-125х12	280	4-20	32	20	4
ЧП 2-125х15	180-470	6-30	55	25	5
ЧП 2-160х12	480	3,6-18	75	40	5
ЧП 2-160х15	480-650	5,5-27	75	48	6

3.5.2. Конструкционные и прочностные характеристики червяков экструдеров-грануляторов для производства гранул из полимерных отходов

Основным рабочим органом экструдера является червяк. Производительность и назначение экструдера зависят от диаметра червяка, отношения его длины к диаметру ($L : D$), скорости вращения червяка и его геометрических особенностей: профиля винтового канала, гребня и головки, наличия канала для охлаждения, количества зон и т.д.

При переработке пластмасс применяют экструдеры с диаметром червяка 9-508 мм и отношением $L : D = (6 \div 40) : 1$. В большинстве случаев универсальные одночервячные экструдеры имеют отношение $L : D = (20 \div 25) : 1$. Число оборотов червяка обычно регулируют механическим вариатором или коробкой скоростей (при приводе от обычного асинхронного двигателя переменного тока). При приводе от асинхронного коллекторного электродвигателя, двигателя постоянного тока или гидравлического двигателя бесступенчатое регулирование чисел оборотов обеспечивается самими двигателями.

В зависимости от экструдруемого материала и частично от вида и назначения изделий изготавливают одно- и многозаходные червяки с постоянным и переменным шагом, с постоянной и переменной глубиной канала. Применяют главным образом червяки с постоянным шагом и переменной глубиной канала. Такие червяки производительнее и проще в изготовлении.

Таблица 3.14 – Геометрические параметры червяка, мм

Диаметр червяка D	Шаг t	Глубина канала в зоне питания h_1	Глубина канала в зоне выдавливания h_3	Ширина гребня e
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

Для переработки полиэтилена рекомендуются червяки с параметрами, приведенными в табл. 3.14. Глубина винтового канала червяка зависит от вида перерабатываемого материала и профилируемого изделия, а также от проводимого процесса. Меньшая глубина канала рекомендуется для полиамидов и полиофелинов, а также при производстве труб, различных профилей, листа. Глубокий канал следует применять при переработке поливинилхлорида и полистирола, а также при производстве гранул и кабельных изделий.

Большое значение в работе экструдера имеет размер кольцевого зазора между гребнем червяка и внутренней поверхностью цилиндра. При увеличенном зазоре повышается эффективность смешивания материала, но уменьшается подача материала из-за увеличения обратного потока материала. Обычно применяют червяки с постоянным диаметром при зазоре между червяком и цилиндром $0,002 D$ для больших диаметров червяка и $0,005 D$ для малых диаметров червяка. При переработке материалов с низкой вязкостью расплава (полиамиды, некоторые марки полиэтилена) зазор должен быть минимальным и не превышать $0,1$ мм.

Не менее важной, чем диаметр и размер кольцевого зазора, является длина червяка или отношение $L : D$. При увеличении длины червяка повышаются интенсивность теплового воздействия на материал, скорость вращения червяка и производительность экструдера при одновременном увеличении потребной для привода мощности. Более короткие червяки рекомендуются при изготовлении труб, выдувных изделий, непрерывных профилей, листов. Длинные червяки следует применять в быстроходных экструзионных установках, предназначенных для получения пленок, волокон, гранул, покрытия бумаги и ткани пленкой, а также для дублирования пленок, и наложения пластмассовой изоляции на провода и кабели. В большинстве случаев червяк имеет постоянный шаг, равный диаметру.

Геометрическая форма червяка зависит от перерабатываемого материала. На рис.3.24, *а* показан червяк с тремя зонами: зоной питания 1 с постоянной глубиной винтового канала длиной $15 D$, короткой зоной сжатия 2, длина которой составляет $(0,5 - 1) D$, с переменной глубиной канала и зоной выдавливания дозирования 3 длиной $(4 - 5) D$ с постоянной глубиной нарезки. Червяк применяют главным образом для переработки полиамидов. Универсальный червяк с тремя четко выраженными зонами питания, сжатия и выдавливания, длина которых равна соответственно 8, 7, и $5 D$, показан на рис. 3.24, *б*.

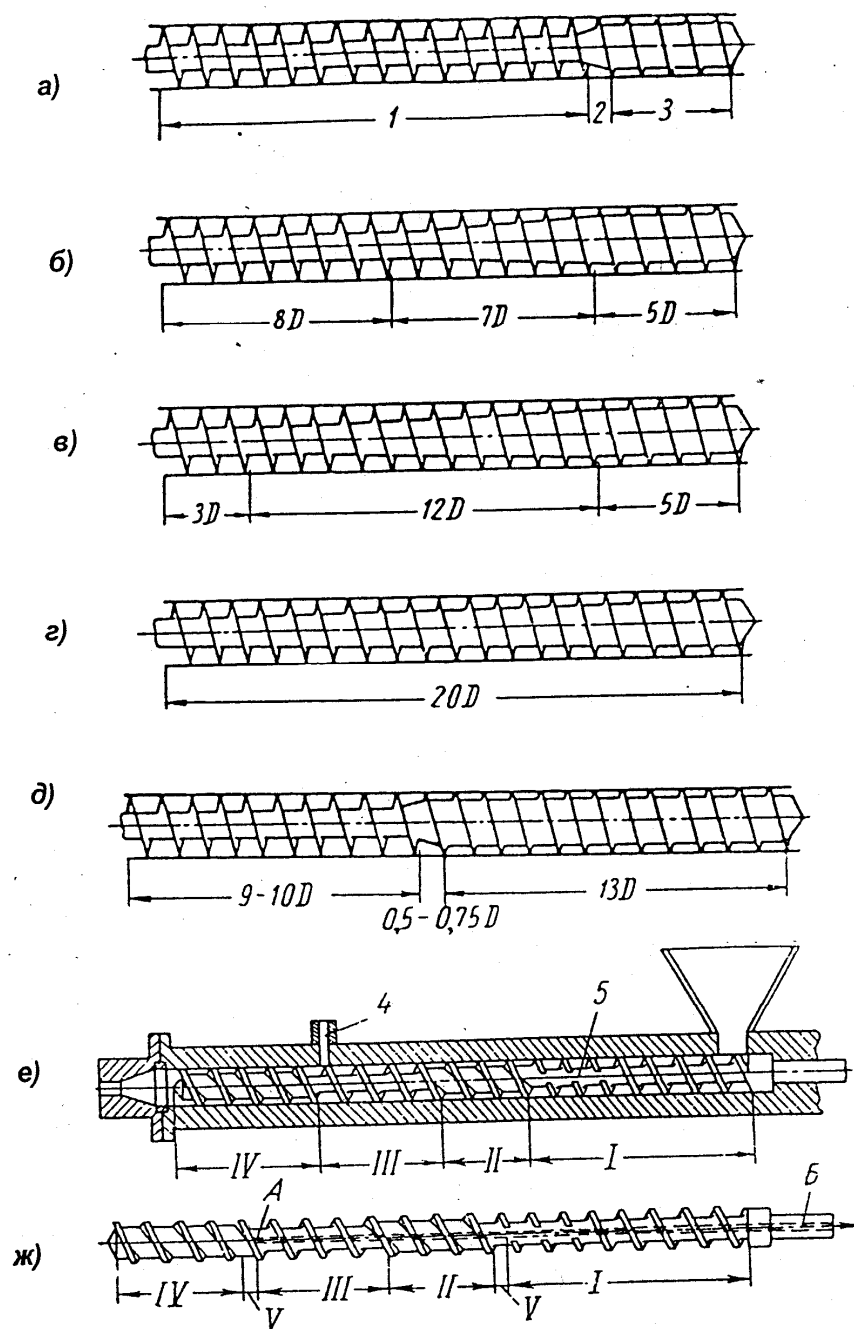


Рис. 3.24 – Червяки, применяемые при переработке различных термопластов:

а – с длинной зоной питания и короткой зоной сжатия; *б, в* – с длинной зоной сжатия; *г* – с одной зоной постепенного сжатия для ПВХ; *д* – с короткой зоной сжатия для полиэтилена; *е* – двухстадийный с зоной декомпрессии; *ж* – с зоной декомпрессии и вакуумным каналом.

На рис. 3.24, *в* показан червяк с короткой зоной питания ($3D$), длинной зоной сжатия ($12D$) и нормальной зоной выдавливания ($5D$), применяемый при переработке полиолефинов. При переработке непластифицированного поливинилхлорида используют червяк длиной $20D$ с одной зоной постепенного сжатия, в начале которой осуществляется питание материалом, а в конце – выдавливание однородного пластицированного материала (рис.3.24, *г*). Отсутствие резких переходов между зонами позволяет избежать термической деструкции

материала. Для переработки полиэтилена наиболее эффективно применение червяка с зоной питания длиной $(9 - 10) D$ и короткой зоной сжатия на участке $(0,5 - 0,75) D$ (рис. 3.24, *д*). Зона выдавливания длиной $13 D$ обеспечивает качественную гомогенизацию материала. При переработке полистирола некоторые фирмы применяют червяк с гладким, без винтовой нарезки наконечником. Такой наконечник, иногда называемый торпедой, предназначен для дополнительной пластикации и гомогенизации материала в тонком слое.

Большинство червяков для одночервячных экструдеров являются одностадийными, у которых процесс пластикации и выдавливания материала осуществляется в одну стадию. Такие червяки могут состоять из трех зон (питания, сжатия и выдавливания), двух зон (питания-сжатия и выдавливания) или одной совмещенной зоны.

Для дегазации и обезвоживания материала в процессе экструзии обычно применяют двухстадийные специальные червяки: с зоной декомпрессии и вакуумным отсосом в цилиндре (рис.3.24, *е*) или с глубокой зоной декомпрессии и каналом в червяке (рис.3.24, *ж*). На червяке имеются зоны: питания *I*, дозирования *II*, декомпрессии *III*, выдавливания *IV*. Между зонами питания и дозирования, а также зонами декомпрессии и нагнетания расположены короткие зоны сжатия *V*. Для предотвращения чрезмерного повышения давления на гребне винтовой линии двух-трех последних витков зоны питания иногда фрезеруют пазы 5 шириной $10 - 13$ мм. Эти пазы также уменьшают пульсацию материала в процессе экструзии. В конце зоны декомпрессии (или вакуумной зоны) имеется отверстие 4 для удаления летучих из материала.

В связи со значительным увеличением объема винтовых каналов отверстие для вакуумного отсоса не забивается материалом. Степень декомпрессии, т.е. отношение объемов винтовых каналов на участке одного шага в зоне декомпрессии и в зоне выдавливания обычно применяют в пределах 3-5. Более высокая степень декомпрессии рекомендуется для червяка, показанного на рис. 3.24, *ж*. Поскольку винтовой канал зоны декомпрессии полностью не заполняется материалом, представилась возможность с тыльной стороны гребня канала просверлить радиальное отверстие *A*, соединенное с продольным каналом *B*, по которым удаляются летучие вещества в процессе экструзии.

Для интенсивного перемешивания, пластикации и гомогенизации материала, его окрашивания, а также смешивания отдельных компонентов применяют составные, комбинированные червяки, состоящие из нескольких участков с постоянной или переменной глубиной канала. Шаг и количество заходов на участках различные, причем отдельные участки имеют противоположное большинству участков направление винтовой линии.

Повышение производительности экструдеров достигается увеличением диаметра, длины и скорости вращения червяка. Одновременно с увеличением эффективной длины червяка уменьшают глубину канала в зоне выдавливания. Увеличение длины и скорости вращения червяка вызывает значительное повышение мощности привода. На современных экструдерах удельная мощность составляет $\sim 0,33$ кВт / кг в час.

Образованию фрикционного тепла способствуют не только удлинение зоны выдавливания, но и охлаждение червяка, а также клапанные устройства в зоне выдавливания. Охлаждение червяка позволяет добиться такого же эффекта, как и при неглубоких каналах нарезки, но вызывает уменьшение производительности экструдера и увеличение удельной мощности привода. Увеличением длины зоны выдавливания и уменьшением глубины каналов удастся устранить или значительно уменьшить пульсирующую подачу материала червяком.

Для получения качественных изделий методом экструзии материал необходимо полностью пластицировать до его поступления в зону выдавливания. Для эффективного повышения качества экструдата при высокой производительности экструдер должен обеспечивать заданные температурные градиенты и изменение текучести материала по длине червяка и глубине винтового канала, а также гомогенность материала.

В обычных экструдерах частицы термопласта, соприкасающиеся с поверхностью червяка или цилиндра, нагреваются сильнее, чем удаленные от этих поверхностей частицы. Скорость сдвига и поглощаемая материалом энергия больше у стенок цилиндра, чем в удаленных местах. Термические и механические воздействия на материал изменяются в зависимости от его положения по длине червяка. Для устранения этих недостатков швейцарская фирма Meillefer разработала червяк новой конструкции. Червяк обеспечивает обязательное соприкосновение с поверхностью цилиндра и выступами гребня витков червяка всех частиц перерабатываемого материала. В результате повышаются эффективность передачи тепла материалу, качество экструдата и производительность экструдера, устраняется необходимость охлаждения червяка, а также установки решеток и клапанов в конце дозирующей зоны для повышения гомогенности расплава за счет увеличения обратного потока материала.

Входной винтовой канал нарезки червяка 1 (рис. 3.25, *а*) начинается в точке *A* загрузочной воронки и заканчивается в точке *B*. Выходной винтовой канал начинается в точке *C* на ребре третьего или четвертого витка и заканчивается в головке 2 в точке *D*. Ширина входного канала постепенно и плавно уменьшается, в то время как ширина выходного канала постепенно увеличивается.

Таким образом, пластицированный во входном канале 4 (рис. 3.25, *б*) материал попадает через зазор *E* в выходной канал 3. Поскольку через узкий зазор *E* может проникать только хорошо пластицированный материал, через выходной канал транспортируется однородный расплав, без гелеобразных включений. По мере плавления во входном канале каждая частица подвергается одинаковому воздействию при прохождении через зазор *E*.

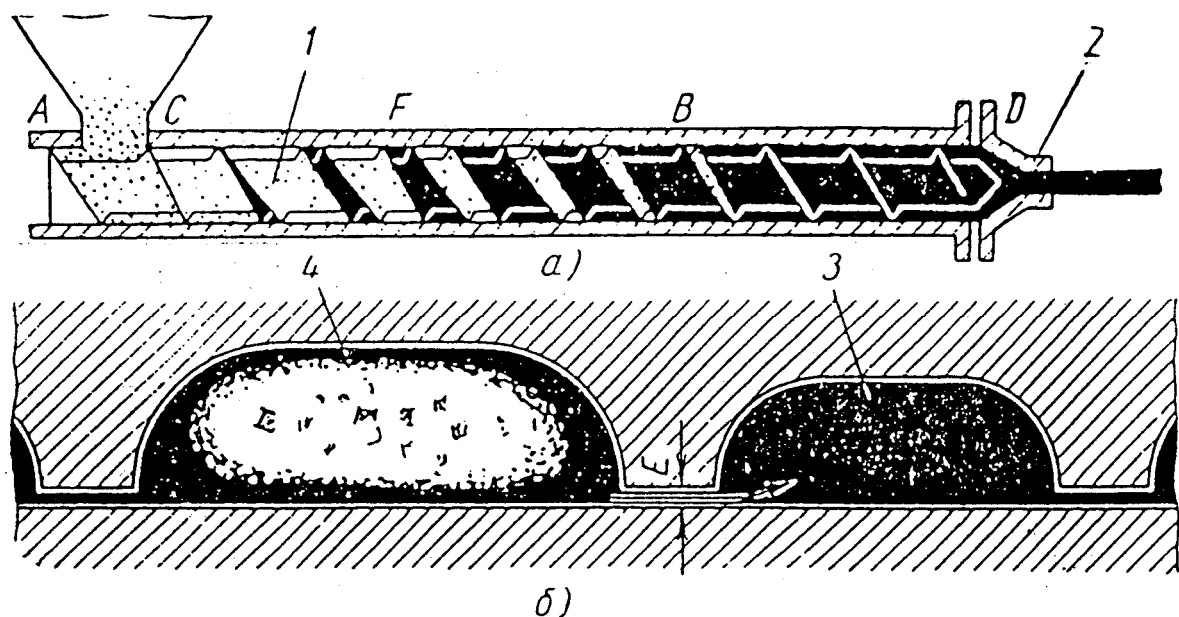


Рис. 3.25 – Червяк с двумя винтовыми нарезками:

a – общий вид; *б* – схема каналов

Экспериментальная проверка нового и обычного червяков при производстве кабельной изоляции показала более экономичное распределение мощности, потребляемой для привода нового червяка. При обычном червяке из 100% подводимой мощности полезная мощность составляет только 45%, а 55% – это следующие потери:

- потери тепла червяком – 44 %;
- механические потери – 6 %;
- потери на радиацию – 5 %.

При использовании червяка новой конструкции полезная мощность составляет 75 %, а потери соответственно 14, 6 и 5 %.

Червяки новой модифицированной конструкции диаметром 90, 120 и 150 мм при скорости 70, 56 и 50 об/мин и мощности привода 30, 45 и 60 кВт обеспечивают производительность экструдера при переработке полимерных отходов и их композиций с различным индексом расплава соответственно 140, 300, 500 кг/ч.

Червяки экструдеров по переработке полимерных отходов требуют высокой твердости формирующей поверхности витков, износостойкости, высокого предела усталости, антикоррозионных свойств с учетом больших отношений величин длины к диаметру. Поэтому их изготавливают из хромомолибденоалюминиевой, хромоникелевой, хромомолибденовой, хорошо азотируемых сталей 38 ХМЮА, 4Х13, 40Х. Поверхности червяков упрочняют методами термохимической обработки (азотирования, закалки), а также нанесением на поверхность червяка или его гребней твердого хрома и твердых сплавов.

При расчете червяка рекомендуется пользоваться следующими эмпирическими зависимостями:

$$t = (0,8 \div 1,2) D ;$$

$$e = (0,8 \div 1,2) D ;$$

$$h_1 = (0,8 \div 1,2) D ;$$

$$h_3 = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i} (D - h_1)} \right] ;$$

$$L_3 = (0,4 \div 0,6) L ;$$

$$\delta = (0,002 \div 0,003) D .$$

где t – шаг винтовой линии червяка;

e – ширина гребня червяка;

h_1 и h_3 – глубина винтового канала в зонах питания и дозирования (выдавливания);

i – степень сжатия (выбирается в зависимости от перерабатываемого материала);

L_3 – длина зоны выдавливания;

L – общая эффективная длина червяка;

δ – величина радиального зазора между гребнем червяка и цилиндром.

Задачей прочностного расчета являются проверка предварительно установленных размеров червяка и определение максимально допустимого прогиба.

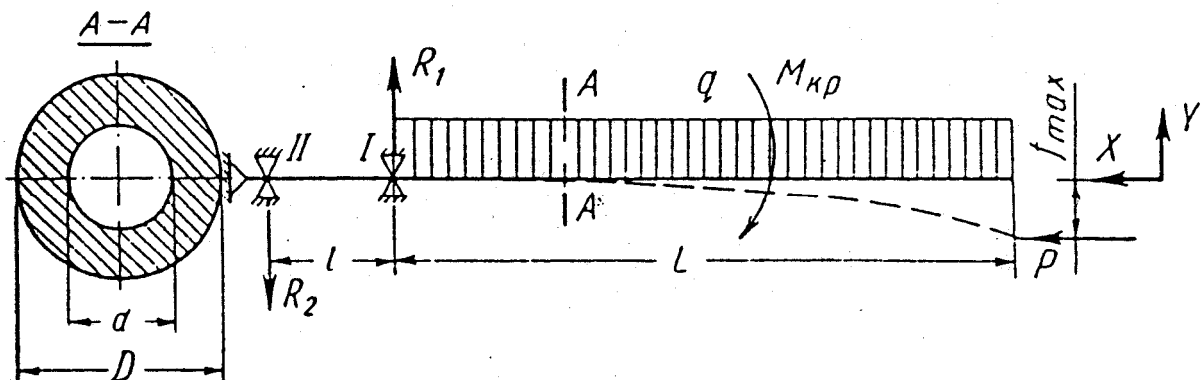


Рис. 3.26 – Расчетная схема сил, действующих на червяк

На червяк действуют осевое усилие P , крутящий момент $M_{кр}$ и равномерно распределенная нагрузка q от собственного веса червяка. Силы P и q вызывают прогиб f червяка (рис.3.26).

Исходные величины для расчета червяка определяют по формулам сопротивления материалов для равномерно нагруженной балки с зашечленным одним концом:

$$M_{кр} = 9550 \frac{N}{n} \text{ н} \cdot \text{м};$$

$$P = F \cdot p \cdot n.$$

где N – мощность привода, кВт;

n – число оборотов червяка, мин.;

F – площадь поперечного сечения червяка, на которую оказывает давление полимерный материал в цилиндре экструдера, м²;

P – удельное давление материала в передней части цилиндра экструдера, н/м²;

Для определения расчетной схемы червяк предварительно проверяют на гибкость по формуле

$$\lambda = \frac{\alpha L}{R_i},$$

где λ – гибкость вала червяка;

α – коэффициент метода крепления вала (в соответствии со схемой $\alpha = 2$);

L – длина червяка, м;

R_i – радиус инерции сечения равный $\sqrt{\frac{I}{F}}$ (м);

В большинстве случаев $\lambda < 120$, тогда максимальное касательное напряжение на поверхности червяка

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p},$$

где W_p – полярный момент сопротивления, равный

$$W_p = \frac{\pi D^2}{16} (1 - u^4) \text{ м}^3.$$

Поскольку нормальные напряжения вызываются осевым усилием P и распределенной нагрузкой q , максимальные напряжения будут возникать в месте защемления вала червяка (у первого подшипника):

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M_u}{W_o};$$

где M_u – максимальный изгибающий момент;

$$M_u = \frac{\nu F L^2}{2},$$

где ν – плотность материала червяка;

W_o – момент сопротивления относительно нейтральной оси;

$$W_o = \frac{\pi D^2}{32} (1 - u^4),$$

u – отношение диаметров червяка $u = \frac{d}{D}$.

Условие прочности червяка

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq \sigma_u.$$

Максимальный прогиб червяка

$$f_{\max} = \frac{q L^4}{8 E I},$$

где E – модуль упругости стали 38 ХМЮА;

I – момент инерции поперечного сечения червяка.

Упорные подшипники выбирают на основании осевого усилия $P = F_p H$ по формуле

$$P_i = \frac{P}{n},$$

где n – число подшипников, установленных в ряд.

3.5.3. Материальные цилиндры экструдеров-грануляторов

Пластикация и гомогенизация при переработке вторичных полимеров происходят в материальных цилиндрах экструдеров. Цилиндры и червяки экструдеров являются основным рабочим узлом экструдера-гранулятора. Они должны обладать высокой прочностью, износоустойчивостью, так как они работают при повышенных температуре (до 400° С) и давлении (до 70 Мн/м²). К цилиндрам предъявляются большие требования по стойкости к агрессивной среде. Поэтому материальные цилиндры так же, как и червяки, изготавливают из хорошо поддающихся азотированию сталей 38 ХМЮА, 4Х13, 40Х.

Цилиндры разделяются по таким признакам:

- конструктивным – на цельные (кованные или литые), разъемные, сварные, комбинированные (например, биметаллические);
- методу обогрева – с рубашками для теплоносителя и без них (с омическим или индукционным электрическим обогревом);
- методу крепления привода и профилирующей головки – с фланцевым, байонетным и другими соединениями.

Обычно в полость цилиндра устанавливают гильзу (втулку) или набор гильз. В некоторых случаях цилиндры не имеют гильз, при этом их внутренняя поверхность является рабочей. Внутреннюю поверхность цилиндра или гильз азотируют. Поскольку азотированная поверхность склонна к короблению и образованию трещин из-за концентрации напряжений в граничном слое и подвержена коррозии (в результате удаления частиц нитридов хрома при окончательной механической обработке поверхности), применяют биметаллические цилиндры, изготовленные методом центробежного литья. Толщина слоя износоустойчивого покрытия цилиндра после окончательной обработки примерно равна 1,5 мм. Для покрытий применяют сплавы с содержанием 9-30 % Cr. Биметаллические цилиндры в три раза долговечнее азотированных.

Снаружи цилиндра располагают устройство для обогрева и охлаждения автономных участков цилиндра, термopары, термоизоляционные кожуха. В зоне

питания червяка находится загрузочная воронка прямоугольной, круглой или овальной формы. В этой зоне цилиндр имеет рубашку для охлаждения проточной водой.

Радиальные и упорные подшипники, устройство осевого перемещения червяка расположены в его задней части. К переднему (обычно фланцевому) торцу цилиндра крепится профилирующая головка (фильера).

Цилиндр состоит из загрузочной и рабочей частей. Загрузочную часть изготавливают из стального литья со смещенным относительно оси червяка прямоугольным отверстием с закругленными углами. Длина отверстия равна $1,2 - 1,5$ диаметра червяка при шаге в зоне питания $t = D$.

Производительность экструдера и равномерность выдавливания зависят не только от диаметра, длины и скорости вращения червяка, перерабатываемого материала и вида профилируемого изделия, но также от равномерности подачи материала в загрузочную зону экструдера и предварительного уплотнения материала. Обычно для равномерной загрузки материала в экструдер применяют устройство с вертикальным или горизонтальным подающим шнеком или вибратором. Вибрационное устройство обеспечивает наиболее равномерную подачу материала, однако не дает его предварительного уплотнения, поэтому пригодно главным образом для загрузки экструдера гранулами. На червячных экструдерах применяют поворотный конический бункер 4 (рис.3.27), закрепленный консольно на вертикальной стойке 8. В бункере установлен вертикальный вал с лопастями 3, заканчивающийся в зоне загрузочной воронки экструдера уплотняющим шнеком 2.

Для привода вала установлен индивидуальный электродвигатель 9 с вариатором 7, от которого передается крутящий момент на ременную или цепную передачу 6. Для отвода бункера от загрузочной воронки экструдера бункер сначала поднимают гидравлическим устройством, смонтированным на вертикальной стойке 8, а затем поворачивают вокруг стойки.

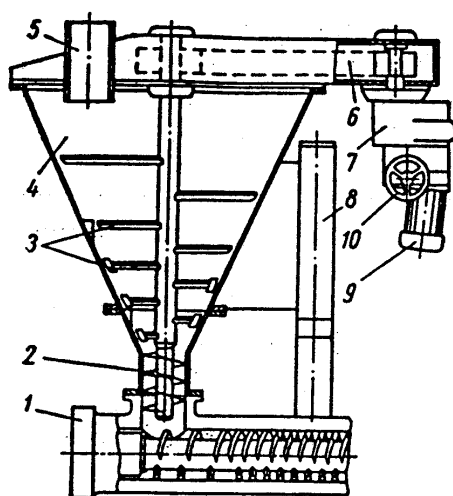


Рис. 3.27 – Загрузочные устройства для питания экструдера материалом:
бункерный питатель с мешалкой и шнеком

Соединение нижнего фланца бункера с фланцем загрузочной воронки контактное, без болтов. Скорость вращения лопастного вала регулируют изменением эксцентриситета фрикционного диска, установленного между приводным электродвигателем и редуктором. Для регулировки эксцентриситета предназначен штурвал 10. Загружаемый через штуцер 5 материал может подаваться в виде порошка дробленых, а чаще агломерированных полимеров.

Цилиндр экструдера кроме зон обогрева имеет водяное или воздушное охлаждение, которым пользуются при перегреве или опасности перегрева полимерного материала в цилиндре.

Чаще для обогрева цилиндра применяют пластинчатые или трубчатые нагреватели омического сопротивления. Их укладывают в спиральные канавки, расположенные на наружной поверхности цилиндра экструдера. Нагреватели закрыты герметическим кожухом, который предохраняет их от проникновения охлаждающего агента и служит экраном для теплового потока, распространяемого нагревателями вследствие лучеиспускания.

При разогреве цилиндра к нагревателям подводится полное напряжение, которое автоматически уменьшается вдвое после достижения заданной температуры (из-за чего мощность нагрева уменьшается в четыре раза). При внезапном резком снижении температуры цилиндра нагреватели автоматически включаются на полную мощность до восстановления заданной температуры. Для автоматического контроля температуры каждой зоны нагрева установлены позиционные приборы с импульсными прерывателями (дозаторами энергии).

Цилиндр охлаждается технической водой системы оборотного водоснабжения.

Наиболее интенсивной и экономичной является система обогрева индукционными нагревателями. Они имеют большой срок службы, позволяют развивать высокую удельную мощность нагрева и избегать местных перегревов цилиндра, поскольку температура нагревателя не превышает температуру обогреваемого цилиндра. Цилиндр нагревается из-за индуктирования на его поверхности вихревых токов Фуко и потерь на гистерезис. При этом необязателен плотный контакт нагревателя и цилиндра, что создает большие удобства для размещения охлаждающих каналов с помощью системы оборотного водоснабжения. В первом случае (рис. 3.28) вода через штуцер 3 подается в камеру 1 и омывает поверхность цилиндра 6, после чего сливается через штуцер 7. Индукционные нагреватели 4 установлены поверх теплоизоляционного слоя 2. Для создания замкнутых контуров электромагнитного поля предназначены фигурные пластины 5, а для измерения температуры цилиндры – термопара 8.

Для предохранения от нагрева индукционный нагреватель изнутри укрыт рефлектором 4, который отражает тепловой поток, излучаемый цилиндром. Питание к индукционному нагревателю подводится через клеммную колодку 5.

Динамические характеристики омического и индукционного нагревателей имеют форму экспоненты (рис. 3.29, а) и отличаются по времени запаздывания, которое характеризует изменение температуры нагревателя после его включения. У индукционного нагревателя (кривая 2) время запаздывания составляет всего 10 сек, тогда как у омического нагревателя оно превышает 1 мин (кривая 1), что не

позволяет точно регулировать температуру нагрева. Теоретически при идеальной конструкции индукционного нагревателя его динамическая характеристика должна представлять собой экспоненту с нулевым временем запаздывания, которая имеет спрямленный участок при температурах, соответствующих равновесию между подводимым теплом и потерями конвекции и радиации.

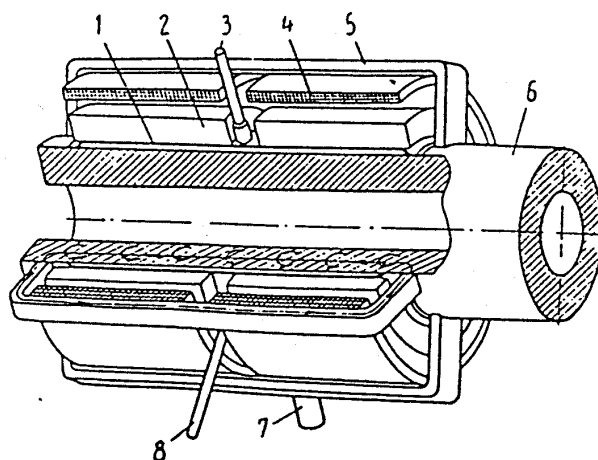


Рис. 3.28 – Индукционный нагреватель с водяным охлаждением

Индукционные нагреватели отличаются лучшей управляемостью. Разность температур нагревателя и цилиндра, цилиндра и перерабатываемого материала при применении нагревателей сопротивления значительно выше, а удельная тепловая нагрузка меньше. Эффективность индукционных нагревателей объясняется также тем, что потери тепла в окружающую среду у них пропорциональны абсолютной температуре в четвертой степени.

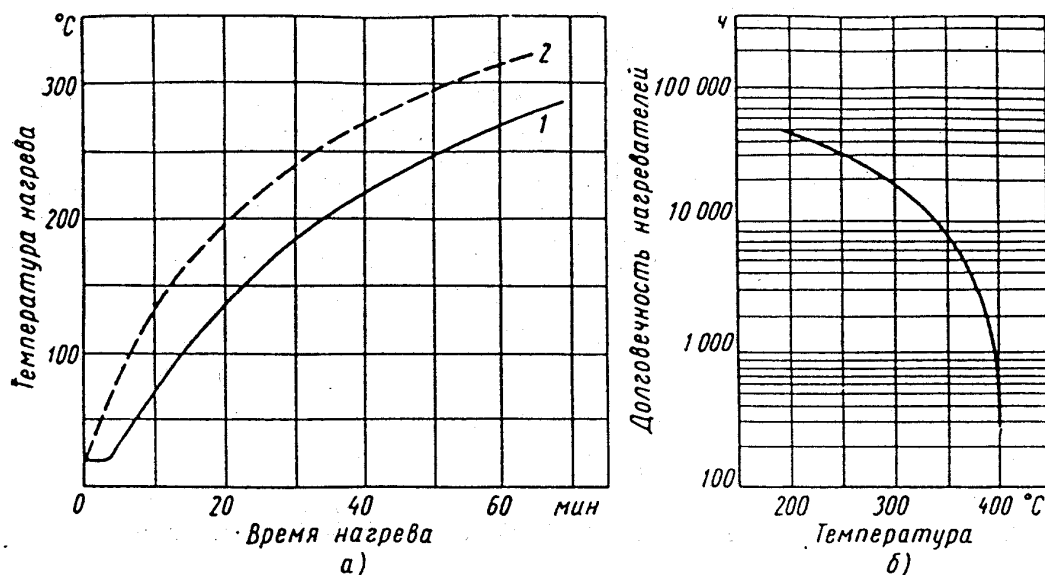


Рис. 3.29 – Характеристики индукционных нагревателей:

а – динамические характеристики; б – зависимость срока службы от температуры

Однако индукционные нагреватели имеют высокую стоимость и небольшой срок службы. В процессе эксплуатации изоляция индукторов нагревается от контакта с цилиндром, что вызывает увеличение сечения медного провода, его

окисление и разрушение стеклоизоляции, а в некоторых случаях – короткое замыкание и выход из строя нагревателя. Изоляция может также разрушаться из-за электромагнитных колебаний обмотки. Зависимость срока службы индукционных нагревателей от температуры эксплуатации показана на рис. 3.29, б. Недостатком является также трудность разборки и ремонта вышедших из строя индукционных нагревателей. Разъемные нагреватели очень дороги, их стоимость в 10 раз превышает стоимость нагревателей сопротивления такой же мощности.

С учетом сказанного целесообразно применять низковольтные индукционные нагреватели. Они сделаны в виде спирали из медной проволоки круглого или прямоугольного сечения, которая навита вокруг цилиндра и подсоединена ко вторичной обмотке низковольтного трансформатора. Благодаря низкому напряжению и небольшому количеству витков изоляция такого индуктора не представляет трудностей. Конструктивные особенности основного рабочего узла экструдера: цилиндр – червяк обеспечивают высокое качество гомогенизации перерабатываемых полимерных отходов. Гомогенизация расплава предполагает, что при смешивании происходят распределение и диспергирование частиц вторичных полимерных материалов. Смешивание необходимо для устранения различия свойств полимеров разных партий, для композитного вторичного сырья, при смешивании его в процентном соотношении с первичным полимерным сырьем или другими компонентами, для введения различных добавок, пластификаторов, что является главным в технологии изготовления продукции из вторичного полимерного сырья.

3.6. Измельчение полимерных отходов

Одной из первостепенных операций, изменяющих качество полимерных отходов перед переработкой, является диспергирование (измельчение). Практически все процессы переработки отходов, за исключением сжигания и пиролиза, включают в качестве одной из основных операций измельчение. В большинстве технологий переработки полимерных отходов измельчение совмещено с мойкой.

Из известных методов получения мелкодисперсных полимерных отходов для измельчения отходов термопластов наиболее приемлемым является способ механического измельчения. В Украине наиболее распространен измельчитель типа ИРНП-300-600-5/3, разработанный Харьковским СКТБ «Машприборпластик». Измельчитель предназначен для измельчения отходов вторичных термопластов в виде полых изделий, пленочных отходов, кусковых и литевых термопластов толщиной в монолите не более 10 мм.

Для грубого измельчения полимерных отходов в виде кусков более 10 мм применяют ленточные и дисковые пилы, рычажные ножницы, ножевые дробилки.

Для измельчения кусковых полимерных отходов институтом «УкрНИИпластмаш» разработан роторный измельчитель ИПР – 450 м. Производительность его 350-100 кг/ч, мощность 27,5 кВт. Для измельчения волокнистых и пленочных полимерных отходов термопластов разработан двухстадийный

роторный измельчитель ИРПД – 300 производительностью 250-300 кг/ч и мощностью 26,6 кВт. Эффективность измельчения крупногабаритных кусковых отходов термопластов достигается за счет их предварительного измельчения.

Западные технологии измельчения объемных полимерных отходов предусматривают предварительное измельчение по принципу ножиц непосредственно в камере измельчения установки. При этом мощность, потребляемая механизмом предварительного измельчения, составляет 10 % от мощности, потребляемой основным измельчающим механизмом. Общее потребление электроэнергии значительно снижается в сравнении с энергозатратами аналогичных установок без механизма предварительного измельчения.

Для переработки отходов литевых, выдувных и экструдированных изделий произвольной формы применяют дробилки или измельчители с тремя вращающимися ножами на роторе 1 и двумя неподвижными ножами на корпусе 2 измельчителя. Схематично основные узлы и детали роторного измельчителя для отходов термопластов показаны на рис. 3.30.

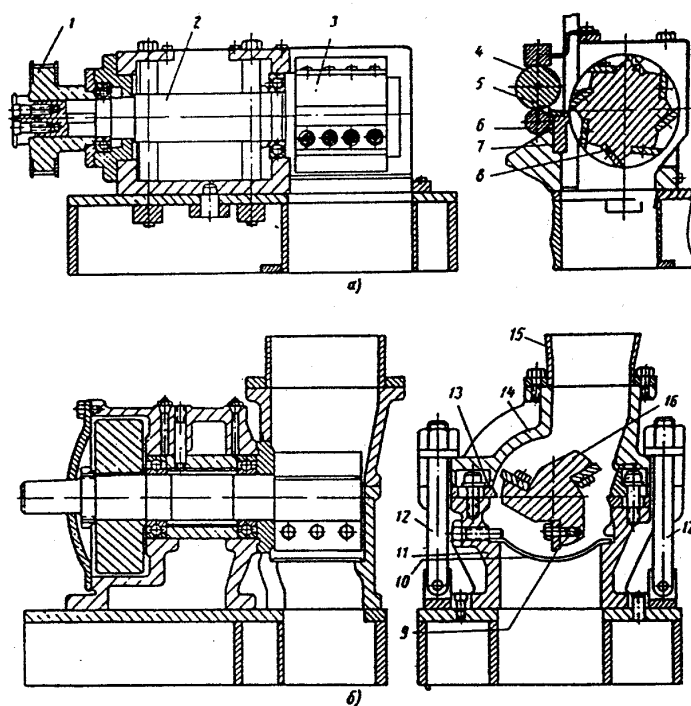


Рис. 3.30 – Роторные измельчители для термопластов:

а – гранулятор для листовых термопластов; *б* – измельчитель для термопластичных отходов.

Отходы (бракованные изделия, литники, обрезки полых изделий тары и пленки, куски труб из полиэтилена и др.) загружают сверху в бункер 3. Для предотвращения отскока измельчаемых отходов от ротора применяют тангенциальную загрузку под определенным углом к вращающемуся ротору. В нижней части измельчителя установлена решетка 4 с отверстиями определенного диаметра, через которые просыпается в тару измельченный материал.

Таблица 3.15 – Технические характеристики измельчителей для отходов термопластов

Параметры	ИПР-100	ИПР-150	ИПР-300	ИПР-450	ЭТ-27-01
Производительность, кг/ч (в зависимости от перерабатываемого материала)	25-60	100-150	300-350	800-1000	150-300
Максимальные размеры перерабатываемых отходов, мм	120×80×250	230×120×120	600×185×185	800×325×270	300×150×150
Диаметр ротора, мм	100	150	300	450	320
Длина ножа, мм	13	19,5	40	60	400
Количество ножей в шт.:					
подвижных	3	3	3	5	3
неподвижных	2	2	2	3	2
Скорость вращения ротора, об/мин.	1500	1300	1350	750	1300
Мощность электродвигателя, кВт	1	1,6	20	23,2	22
Габаритные размеры, м	0,5×0,5×1	0,9×0,7×1,5	1,5×0,6×2	2,2×1,3×2,3	1,68×0,95×1,68
Вес, кН (кг)	0,7(74)	3(312)	14(1402)	20(2000)	1300
Вентилятор:					
Производительность, м ³ /ч	-	760	760	760×2	-
мощность двигателя, кВт	-	1,1	1,1	1,1×2	-
напор, мм вод. ст.	-	260	260	260	-

Эффективным методом измельчения пленочных отходов является совмещение процессов измельчения и промывки, разработанным предприятием «Экотехника» и апробированном в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер».

Моечно-резательный агрегат (рис.3.31) представляет собой высокоскоростной смеситель-измельчитель, предназначенный для измельчения и промывки отходов полимеров в виде использованной посуды разового пользования, отходов пленки, ПЭТ-бутылки и др.

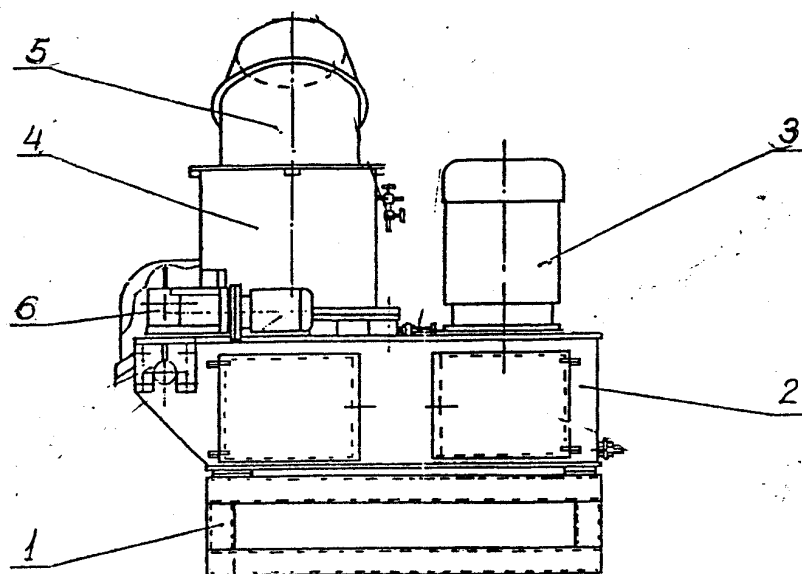


Рис. 3.31 – Агрегат моечно-резательный:

1 – каркас подставки; 2 – станина; 3 – электродвигатель; 4 – корпус;
5 – загрузочный бункер; 6 – редуктор

Агрегат состоит из корпуса цилиндрической формы, внутри которого установлен вертикальный вал с закрепленными на нем тремя парами ножей. Предусмотрено устройство для подачи моющего раствора или воды, а также окна для выгрузки готового измельченного полуфабриката сырья и слива моющей жидкости в систему водоотведения через систему водоочистки и отстойники. Вал с ножами приводится во вращение электродвигателем посредством клиноременной передачи.

Таблица 3.16 - Техническая характеристика моечно-резательного агрегата

Наименование параметров	Величина параметров
Производительность, кг	100
Мощность привода, кВт	30
Диаметр рабочей камеры, мм	510
Частота вращения ножей, с ⁻¹	25
Объем рабочей камеры, дм ³	127
Габаритные размеры, мм:	
длина	1540
ширина	790
высота	1700
Количество ножей, шт.	6
Расход воды, м ³ /ч	1

Загрузка в моечно-резательный агрегат производится в бункер непрерывно в процессе работы агрегата. Одновременно в рабочую зону подается вода и осуществляются промывка от загрязнений и измельчение загружаемого полимерного сырья. Для предотвращения зависания фракций измельченного и

промытого сырья на выгрузке предусмотрен четырехлопастный скребок с приводом. Скребок закрыт защитным кожухом.

При незначительной доработке моечно-резательный агрегат может использоваться в качестве агломератора.

Измельчение с промывкой способствует уменьшению износа ножей и облегчает удаление взвешенных в воде загрязнений. Удаление взвешенных загрязнений является сложной задачей, потому что размеры фракций загрязнений и измельченных отходов близкие. Неизмельченные отходы пленки не могут быть хорошо отмыты. Опыт показывает, что при транспортировке к месту переработки загрязнение пленочных отходов составляет 5-23 %.

Перспективным является метод предварительного глубокого охлаждения или путем введения хладагента в ходе измельчения.

Криогенный способ измельчения позволяет получать мелкодисперсные отходы со степенью дисперсности от 0,5 до 2 мм. В качестве хладагента чаще всего используют жидкий азот. При криогенном измельчении достигаются производительность до 1200 кг/ч, сокращение расхода энергии и затрат рабочего времени, улучшение распределения композитных полимерных отходов, уменьшение деструкции. Учитывая высокую стоимость хладагентов, этот метод не нашел широкого распространения.

3.6.1. Водоотделение, разделение и транспортировка измельченных полимеров

Ответственной операцией подготовки полимерных отходов является мойка исходного полимерного сырья горячей или холодной водой с применением и без применения моющих средств. Как правило, отходы полимерного сырья на переработку поступают с загрязненностью от 5 до 27 %.

В практике в основном используют традиционные «мокрые» способы очистки полимерных отходов. Отходы пластмасс из сферы потребления перед промывкой следует очищать от загрязнений. Это позволяет снизить загрязненность моечных растворов на первой стадии измельчения в моечно-резательном агрегате или после измельчения в роторном измельчителе при разделении композитных смесей полимеров в разделительной ванне флотации.

Для предварительной очистки полимерных отходов еще не созданы специальные установки. Из-за разнообразия форм изделий, тары и упаковки из полимеров такие установки не могут быть рекомендованы как универсальные. В связи с этим предварительная очистка осуществляется простым встряхиванием, грохочением или направленной струей воды с очистительными щетками.

Для дальнейшей переработки отмытые отходы необходимо подвергнуть сушке. Существуют различные методы водоотделения. Наиболее рекомендован метод вихревого влагоотделения. Измельченные, промытые полимерные отходы воздушным потоком центробежного вентилятора отбрасываются на перфорированные сетки корпуса влагоотделителя.

Материал сушится под действием центробежных сил. Вода удаляется через нижнюю часть корпуса, а осушенный материал выносится потоком воздуха.

Для первоначального отбора воды из измельченных отходов полимеров или гранулята на практике чаще применяют вибросито. Оно состоит из рамы с закрепленным на ней посредством плоских пружин коробом с двойным дном. Верхнее дно перфорировано. Короб устанавливается наклонно по отношению к раме и посредством эксцентрикового механизма осуществляет непрерывную вибрацию. Измельченные отходы полимеров и гранул с водой поступают в нижнюю часть короба. Отделенная вода через перфорированное дно сливается на очистку в отстойник, а измельченные полимеры или гранулы под воздействием вибрационных сил, поднявшись по коробу, поступают в приемные лотки пневмотранспортера или тару. Производительность вибросита 100-150 кг/ч при площади транспортирующей поверхности до 1 м² с частотой вибрации 25 Гц.

Отделение влаги от полимерных отходов после моечно-резательного агрегата частично происходит при транспортировке в шнековом транспортере. Он представляет собой наклонно установленный цилиндрический корпус (трубу) с размещенным в ней шнеком. В верхней части корпуса установлен мотор-редуктор, приводящий во вращение шнек. Измельченные отходы или гранулят поступают в приемный бункер нижней части шнекового транспортера. Вода через перфорированное дно стекает на слив в систему отстойников, а измельченные полимерные отходы транспортируются в верхнюю часть на выгрузку.

Перечисленные способы водоотделения частично обеспечивают удаление влаги измельченного полимерного сырья. Основное удаление влаги (до 20 %) после моечно-резательного устройства по технологии, разработанной ИП «Экотехника», осуществляется в агрегате отжимки (рис. 3.32). Агрегат отжимной (АО) предназначен для отделения воды от измельченных термопластичных отходов (полимерной пленки, полимерной разовой посуды, тары и упаковки из полимеров). АО является устройством непрерывного действия и может быть использован в сочетании с другими аппаратами в линиях переработки вторичного сырья.

Узлы агрегата отжимного смонтированы на станине 1. В нижней части цилиндрического корпуса 3 расположен загрузочный патрубок 4, в который поступает влажное сырье после моечно-резательного агрегата. В корпусе агрегата размещены три решетки на разной высоте для отвода отжатой воды. Вода стекает по лотку 5. В верхней части корпуса расположена камера выгрузки 6. Крутящий момент от электродвигателя 2 через клиноременную передачу передается на ротор барабана отжимки, расположенного внутри корпуса 3.

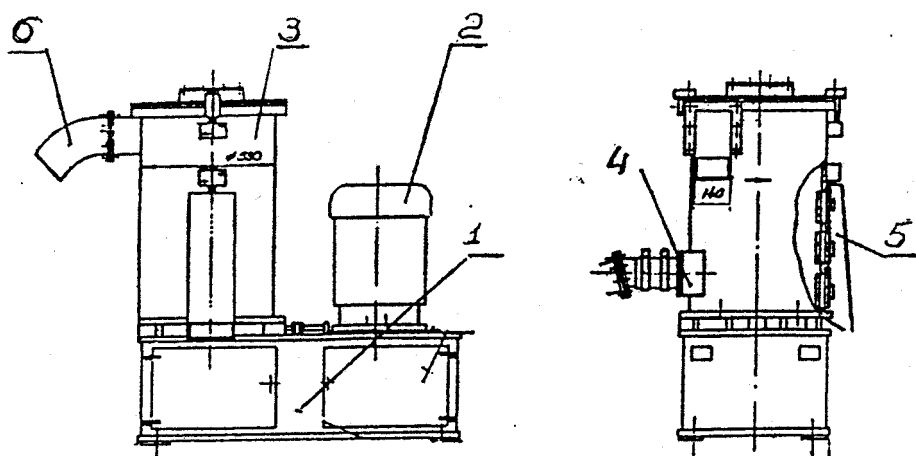


Рис. 3.32 – Агрегат отжимной:

1 – станина; 2 – электродвигатель; 3 – корпус; 4 – патрубок загрузки; 5 – лоток слива воды; 6 – патрубок выгрузки.

Через загрузочный патрубок 4 измельченное с высокой влажностью сырье принудительно поступает в рабочую камеру корпуса и под воздействием вращающегося ротора движется по спирали вверх. Вода под действием центробежной силы попадает в лоток слива воды 5, а материал после отжимки, достигнув патрубка выгрузки 6, удаляется из рабочей камеры агрегата отжимного. В зависимости от насыпной плотности и вида полимерных отходов при частоте вращения рабочих органов $C^{-1} = 25$ отжимной агрегат обеспечивает производительность отжимки 100-125 кг/ч с достижением влажности на выходе не более 5 %.

Разделение отходов полимерных материалов по видам полимеров в больших промышленных объемах до настоящего времени не нашло широкого применения. Разделение композитных смесей полимерных отходов основывается на различии физических свойств материалов: плотности, смачиваемости, температуры плавления, размеров частиц. Наибольшее применение в практике при переработке полимерных отходов мощностью до 1500 т/год получил флотационный метод разделения в жидкой среде по плотностям смешанных полимеров. В жидких растворах с плотностью более 1 г/мл можно разделить полистирол, поливинилхлорид и полиэтилен. В водноспиртовых растворах возможно разделение полиэтилена высокой и низкой плотности, полистирола. Метод флотации позволяет разделять смеси отходов термопластов: полиэтилена, полистирола, полипропилена и поливинилхлорида. Разделение полимеров флотационным методом производится при добавлении в воду поверхностно-активных веществ, которые избирательно изменяют их гидрофильные свойства. На эффективность флотации влияют: агрегация измельченной фракции отходов пластмасс различных типов; нежелательная турбулентность разделяющей жидкой среды; воздушные пузырьки транспортирующие измельченные фракции полимеров, природная гидрофобность

отдельных видов полимеров, гидрофильность полимерных фракций вследствие загрязненности их поверхности.

Разделение смешанных (бытовых) отходов полимеров по видам проводят также методами аэросепарации, электросепарации, химическими методами, глубокого охлаждения и др.

Способ разделения отходов полимеров по видам в жидкостях может быть реализован при нахождении измельченных полимерных отходов в жидкости, плотности которых располагаются между плотностями полимеров, находящихся в композиционной смеси. Простейшей жидкостью при разделении смесей полимеров является вода. Для получения разделяющей жидкости с высокой плотностью используют растворы солей, с меньшей плотностью – органические жидкости.

Методы флотации и разделения в тяжелых средах являются наиболее эффективными и экономически целесообразными из всех перечисленных выше. Другие методы разделения промышленного применения не получили.

Экономически целесообразно использовать смешанные полимерные отходы без разделения. Совместные исследования ГКП «Харьковкоммуночиствод», ЗАО «Харпластмасс» и Харьковской государственной академии городского хозяйства подтверждают эколого-экономическую целесообразность изготовления продукции из композитных полимерных отходов для нужд коммунального хозяйства города: плит тротуарных, люков и крышек канализационных колодцев, решеток магистральных дождеприемников, безнапорных полимерных труб и др.

Особо важным в переработке полимерных отходов является процесс технологии грузовых транспортных потоков измельченных мелкодисперсных фракций полимеров, агломерата и гранул ввиду их невысокой плотности и больших объемов переработки.

Наиболее рациональные и апробированные механизированные устройства транспортировки пневмотранспортом измельченных полимерных отходов разработаны ИП «Экотехника», которые внедрены в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьковвторполимер».

Последовательность и краткая характеристика транспортировки пневмотранспортом измельченных полимеров, агломерата и гранулята изложены в параграфе 3.10 «Технологическая линия переработки вторичного полимерного сырья».

3.7. Агломерация измельченных полимерных отходов

Агломерация и гранулирование полимерных отходов являются заключительной операцией подготовки вторичного сырья для последующей его переработки в изделия. Эта стадия особенно важна для полиэтилена, обладающего низкой насыпной плотностью, при переработке отходов из сельскохозяйственной пленки, упаковочной тары и других подобных полимерных материалов. В процессе агломерирования и гранулирования происходит уплотнение полимерного материала, облегчается его дальнейшая переработка, усредняются характеристики вторичного сырья, в результате чего получают материал, который можно перерабатывать на стандартном оборудовании.

Большое влияние на качество вторичного полимерного сырья оказывает дозированная загрузка пластицирующих экструзионных установок полимерными отходами. Минимальная насыпная плотность отходов должна быть не менее 250 кг/м^3 . Сырьевые отходы с меньшей плотностью уплотняют и дозируют с помощью питателей-ворошителей, встроенных в бункер загрузки экструдера. Неравномерность питания загрузки экструдера приводит к пульсации удельного давления пластицируемого полимерного сырья между витками червяка и цилиндром экструдера.

Основным аппаратом агломерации полимерного сырья является агломератор периодического действия (рис. 3.33).

Техническая характеристика агломератора:

- производительность, кг/ч	50
- насыпная плотность (сухого материала)	до 250 кг/м^3
- диаметр рабочего цилиндра корпуса, мм	510
- объем рабочей камеры, дм^3	148
- габаритные размеры, мм	
длина	1530
ширина	1090
высота	1176
- количество планок с ножами, шт.	3
- количество ножей, шт.	6
- частота вращения рабочих органов, С^{-1}	25
- мощность электродвигателя, кВт	30
- потребляемый расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$	0,05

Агломератор предназначен для измельчения, очистки, предварительной подсушки полимеров и агломерации их методом спекания («окускования») мелкодисперсных измельченных пленочных отходов. Он может быть использован как для проведения полного цикла переработки полимеров, так и в сочетании с другими аппаратами для проведения одной или нескольких стадий с последующей переработкой в других аппаратах, а также встроенных в технологическую линию переработки вторичных полимеров.

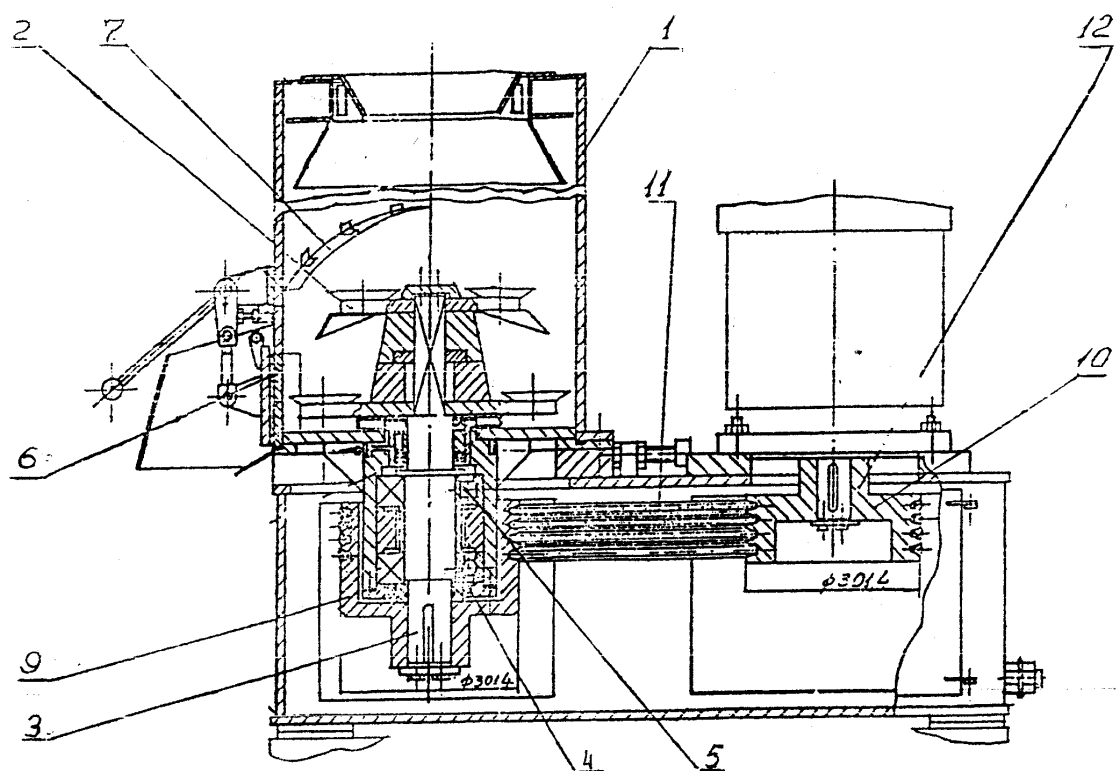


Рис. 3.33 – Агломератор:

1 – корпус; 2 – ножи; 3 – вал-ротор; 4-5 – подшипники; 6 – заслонка; 7 – отбойник; 8 – узел крепления ножей; 9-10 – шкив; 11 – клиноременная передача; 12 – электродвигатель.

Подготовка уплотнения полимерных отходов будет более экономичной при объединении процессов измельчения и агломерации в одной механизированной установке.

Агломерация позволяет получить сыпучий материал из измельченных пленочных отходов в агломераторе. Агломератор представляет собой цилиндрический корпус 1, над донной частью которого расположен ряд ножей 2. Ножи расположены на планках, закрепленных на вертикальном ножевом валу-роторе 3 под углом 90° и 45° с помощью проставок 8. Вал-ротор вращается в подшипниках 4, 5.

По периметру внутренней поверхности корпуса крепятся отбойники 7 для предотвращения подъема материала поверхности корпуса во время агломерации. Заслонка 8 обеспечивает выгрузку агломерата после отработки технологического цикла.

Загрузка перерабатываемого сырья в агломератор производится сверху через специальное окно в крышке корпуса. Количество загружаемого материала (разовая загрузка) не должно превышать 14 кг пленочных отходов.

Крутящий момент от электродвигателя 12 передается на вал-ротор посредством шкива 10 клиноременной передачи 11. Пленочные отходы, попадая на вращающиеся ножи 2, измельчаются в хлопья площадью до 1 см^2 , которые под действием теплоты трения переходят в пластическое состояние. Для получения

агломерата в аппарат подается вода не более 4 % от массы загружаемого материала. Вода охлаждает полимерный материал, предотвращая его слипание.

Момент подачи воды выбирает оператор по показаниям амперметра, потребляемый ток не должен превышать 50 А.

Охлажденная масса дробится ножами. Образовавшийся агломерат просушивается в течение 1,5 – 2 мин. Выгрузка готового продукта происходит за счет центробежных сил через выгрузочное отверстие в нижней части корпуса при открытой заслонке 8.

Полученный агломерат имеет размеры от 2 до 12-15 мм, насыпная плотность – до 400 кг/м³, остаточная влажность – 0,1-0,15 %.

К преимуществам агломерации следует отнести высокую степень отмывки, большую плотность, а также возможность переработки агломерата в изделия без дополнительной грануляции.

Недостатки процесса агломерирования: получаемый агломерат имеет разнородный состав, затрудняющий равномерное питание загрузки экструдера и термопластавтомата, высокая энергоемкость, быстрый износ ножей, особенно при переработке изношенных и сильно загрязненных пленочных отходов.

Для «выравнивания» гранулометрического состава агломерат подвергают дальнейшей переработке в гранулы на червячных прессах-экструдерах. На таких экструдерах эффективно перерабатываются практически все виды вторичных термопластов при насыпной плотности измельченного полимерного сырья от 50 до 300 кг/м³.

Размеры частиц агломератов во многом зависят от перерабатываемого материала и режимов проведения процесса агломерации. Агломераты в любом случае должны быть хорошо сыпучими, а по насыпной плотности сравнимы с гранулятами, полученными при стренговом переплаве.

3.8. Производство гранул и профильных изделий методом экструзии

Гранулирование является завершающим этапом подготовки полимерного сырья во вторичный гранулированный материал как сырья для переработки в изделия малотоннажной бытовой химии, продукцию для коммунального хозяйства города, профилированных листовых полимерных изделий, погонажных изделий в виде безнапорных канализационных труб, другой продукции, не контактируемой с пищевыми продуктами.

Гранулирующее устройство включает в себя формующий инструмент (фильеру), гранулятор и устройство для охлаждения гранул. На практике используют различные способы гранулирования:

- гранулирование непосредственно на фильере. Резку расплава полимера осуществляют на выходе после фильеры. Прочность гранул обеспечивается охлаждением их в месте резки воздухом, распылением воды, омытием водой. Окончательное охлаждение гранул производится водой или воздухом;
- сухое гранулирование на фильере. Резка расплава непосредственно на фильере осуществляется с помощью вращающихся ножей, установленных

соосно с головкой или эксцентрично к ней. При соосном расположении режущих ножей отверстия на решетке расположены по концентрическим окружностям, а при эксцентрическом – равномерно по всей плоскости плиты. При гранулировании используется воздушное охлаждение. Этот способ применяют при незначительной прилипаемости расплава к металлам (непластифицированный и пластифицированный поливинилхлорид, высоконаполненные полиолефины);

- горячее гранулирование в увлажненной среде. Резка расплава непосредственно на плоскости фильеры производится вращающимися ножами, расположенными соосно или эксцентрично, а упрочнение срезов достигается водяной пылью (туманом). Окончательное охлаждение осуществляется холодным воздухом. Способ применяют для полимеров со склонностью прилипать к металлическим поверхностям, но относительно малой прочностью расплава, упрочнение которого требует интенсивного предварительного охлаждения (полиолефины, полистирол и др.);
- мокрое гранулирование с горячей резкой. Резка производится так же, как и в предыдущем случае, а окончательное охлаждение – водой, подаваемой различными устройствами (полиолефины, АБС-пластики, поликарбонат и др.);
- полумокрый способ гранулирования с горячей резкой расплава. Горячая резка в водяном тумане сопровождается охлаждением водой. Как и в предыдущем случае, способ применяют для материалов с относительно высокой прочностью расплава, но склонных прилипать к металлическим поверхностям;
- подводное гранулирование. Резка производится соосно расположенными ножами, упрочнение среза и охлаждение гранул осуществляются водой. Этот способ используют при переработке материалов с малой прочностью расплава, а также при крупнотоннажном производстве гранул, когда экструдеры развивают высокую производительность (более 1000 кг в час). Из-за непосредственного контакта холодной воды с решеткой возникает опасность переохлаждения последней. Во избежание этого применяют дополнительный подвод тепла, а также теплоизоляцию решетки;
- холодное гранулирование. Выдавливают заготовку в виде круглых прутков (стренг) или лент, которые предварительно охлаждают воздухом или водой, а затем режут специальным режущим устройством. Чаще всего в головке грануляторов формируются стренги или ленты, которые гранулируются после охлаждения в водяной ванне. Диаметр получаемых гранул составляет 2 – 5 мм, длина 0,7 – 2 D. Охлаждение должно проводиться при оптимальном режиме, чтобы гранулы не деформировались, не слипались.

Существенное влияние на распределение гранул по размерам оказывает температура головки. Для обеспечения равномерной температуры расплава между экструдером и выходными отверстиями головки располагают решетки. Число выходных отверстий в головке – от 20 до 300.

Производительность процесса гранулирования зависит от вида вторичного полимера. Для вторичных отходов полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) производительность составляет 50-100 кг/ч.

Линия гранулирования (рис. 3.34) предусматривает резку охлажденных стренговых прутков вторичного полиэтилена на гранулы. Выдавливаемые экструдером 1 (пресс червячный) через стренговую головку 3 прутки расплава полиэтилена охлаждаются в водяной ванне 4 и измельчаются на гранулы специальной фрезой 7 порезочного устройства (гранулятора) 5.

Вторичные гранулированные полимерные материалы получают в зависимости от последовательности процессов резки и охлаждения стренг двумя способами: грануляцией на головке и подводным гранулированием. Выбор способа зависит от свойств перерабатываемых полимерных отходов, особенно от вязкости его расплава и адгезии к металлу.

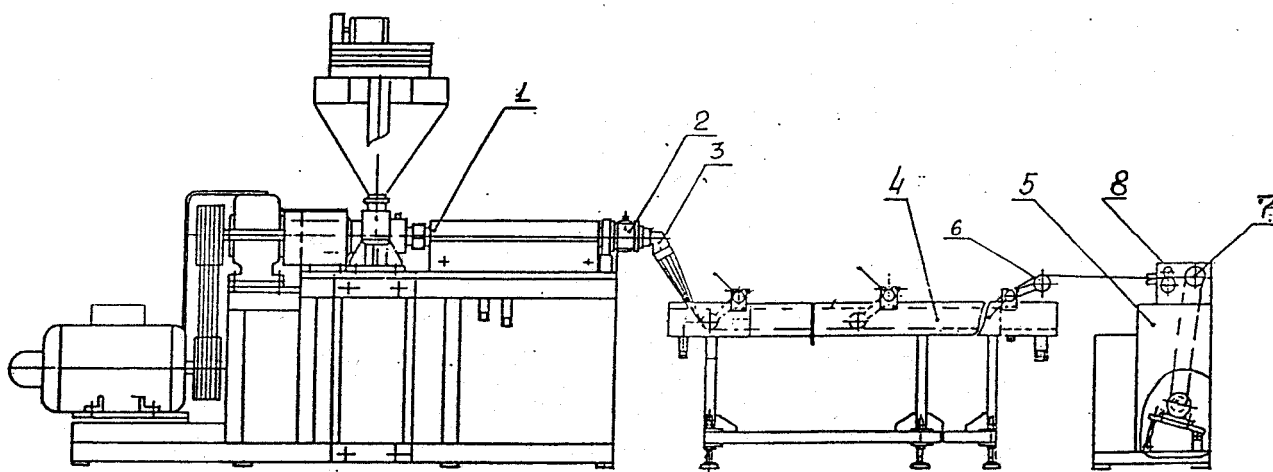


Рис. 3.34 – Линия гранулирования:

1 – экструдер; 2 – фильтр; 3 – стренговая головка; 4 – ванна охлаждения стренг; 5 – гранулятор порезки стренг; 6 – натяжное устройство; 7 – фреза порезки гранул; 8 – подающее устройство.

Для грануляции термопластов применяют одно-, многочервячные экструдеры и специальные машины. На червячных машинах термопласт выдавливается через гранулирующую решетку в виде прутков, которые режутся на гранулы ножом непосредственно на решетке или после охлаждения в водяной ванне. При резке гранул непосредственно на решетке уменьшаются размеры гранулятора и увеличивается производительность.

Изготавливают гранулы цилиндрической или чечевицеобразной формы, но применяются также грануляторы, которые режут ленту термопласта на полосы квадратного сечения. Затем полосы рубят или режут на гранулы кубической формы. В тех случаях, когда куски материала измельчаются в дробилках, измельченный материал неоднороден по величине частиц и их форме, поэтому его правильнее называть крошкой, а не гранулами.

Устройство для производства гранул непосредственно из выдавливаемого червяком расплава состоит из гранулирующей решетки с каналами небольшого диаметра, расположенными по двум concentric окружностям, и

гранулирующей головки. Головка вращается под действием клинового ремня или другим способом. Установленные в расточках головки четыре шпинделя заканчиваются с одной стороны дисковыми ножами, а с другой – шестернями, имеющими зацепление с зубчатым колесом привода. Ножи расположены под некоторым углом к плоскости решетки на расстоянии 13-25 мм.

Благодаря зубчатому зацеплению в планетарном редукторе шпиндели вращаются не только совместно с головкой, но и вокруг собственных осей. Дисковые ножи расположены так, что два из них нарезают гранулы из прутков, которые выдавливаются из внутреннего кольца каналов, а два других ножа – из наружных каналов. Переносная и относительная скорости вращения ножей устанавливаются в зависимости от скорости экструзии прутков и требуемой величины гранул.

Оригинальное устройство для резки гранул непосредственно на гранулирующей решетке показано на рис. 3.35.

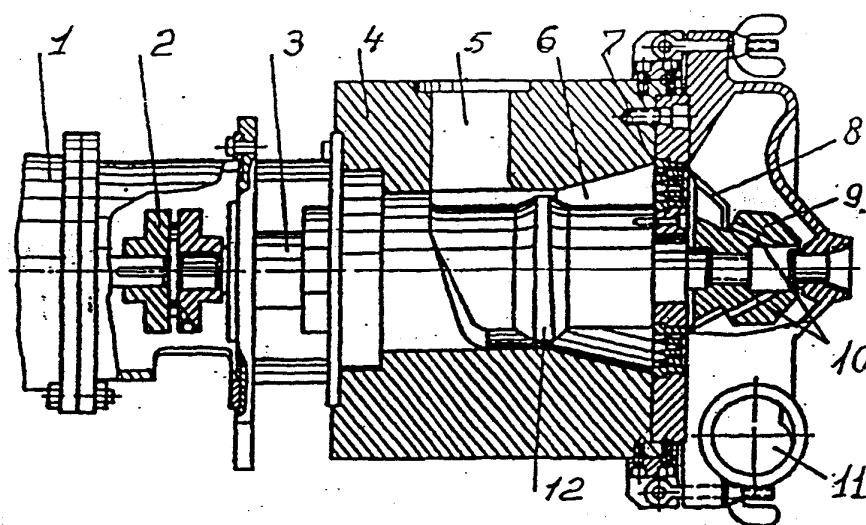


Рис. 3.35 – Устройство для производства гранул непосредственно из расплава

Устройство смонтировано на корпусе 4 угловой головки, которая крепится к цилиндру экструдера. Нагнетаемый червяком экструдера пластицированный материал проходит по каналу 5 и, изменяя направление движения на 90°, перемещается по кольцевому каналу 6. Неподвижный фигурный дорн 12 выравнивает скорость движения частиц материала по кольцевому каналу.

Гранулирующая решетка 7 имеет большое количество отверстий для прохода расплава, расположенных по пяти concentric окружностям. Перпендикулярно к этим отверстиям между ними расположены радиальные каналы для прохода пара. Выдавливаемые через отверстия решетки прутки режутся на гранулы ножами 8. Крутящий момент передается на головку 9 ножей электрическим или гидравлическим двигателем 1 через муфту 2 и вал 3, проходящий через центральный канал в дорне 12.

Благодаря подогреву материала перед самым выходом из решетки гранулы получаются более качественными и однородными. Образованные из прутков гранулы сразу погружаются в холодную воду, нагнетаемую через каналы 10 в

головке ножей. Вместе с водой гранулы транспортируются на вибросито через канал 11.

Для грануляции термопластов применяют установки, в которых гранулирующий механизм установлен непосредственно в водяной камере. Регулируя температуру воды в камере, можно получать гранулы бочкообразной, эллиптической или шаровой формы.

Если раньше гранулирование в воде применяли в основном для относительно высоковязких материалов (полиэтилен высокого и низкого давления), то сейчас этим способом гранулируют и полимеры с низкой вязкостью, например полипропилен, полиамиды и полиэтилентерефталат. Гранулирование в воде является перспективным методом, так как обеспечивает повышение производительности оборудования и качества гранул. Для гранулирующих установок такого типа целесообразно применение червячных экструдеров с производительностью от 100 до 500 кг/ч.

Установки для производства пленки и труб. Полимерные пленки изготавливают методами полива, намазки, каширования, каландрования, механического резания и экструзии. В последнем случае пленка выдавливается через профилирующую кольцевую или щелевую головку и раздувается сжатым воздухом или растягивается механическим способом. В настоящее время преобладает экструзионный способ выдавливания рукавной пленки из термопластичных материалов через кольцевую головку и ее последующего раздувания сжатым воздухом. Рукавная пленка в сложенном виде удобна для производства мешков. При обрезке боковых кромок одновременно получают два полотна, а при продольной резке по одной линии – одно широкое полотно. Максимальная ширина развернутой пленки достигает 12 м.

При изготовлении пленки экструзионно-выдувным способом применяют три направления экструзии рукава: вверх, вниз или по горизонтали.

Принято условно различать получаемый материал при толщине до 0,5 мм – пленки, более 0,5 мм – листы. Методом экструзии обычно получают листы толщиной 0,5 – 6 мм и шириной до 3 м. Различают плоские листы с пленочным покрытием и без покрытия, а также гофрированные листы (с поперечными и продольными гофрами). Различают также листы в зависимости от наличия наполнителей и армирующих волокон, сеток, тканей и т.д.

Установка для производства плоских листов состоит из одно- или двухчервячного экструдера из плоской широкощелевой головки, гладильных валков, устройства для продольной обрезки кромок, роликового транспортера, вытяжного устройства, а также устройства для поперечной резки листов и их штабелировки.

Для производства полимерных листов в основном применяют плоскощелевые головки, внутренняя полость которых выполнена в виде «рыбьего хвоста» или оформляется выступающим фигурным выступом («островком»). Геометрические параметры профилирующей полости в виде «рыбьего хвоста» зависят от перерабатываемого материала. Конструкция такой головки простая, однако распорные усилия увеличивают ширину щели в средней

части, что вызывает соответствующее произвольное увеличение толщины изготавливаемых листов.

Установка для изготовления труб, стержней, шлангов и других профилированных изделий состоит из червячного экструдера, кольцевой аксиальной головки, калибрующей насадки, устройств для охлаждения, измерения длины, вытяжки и резки трубы на участки необходимой длины, а также устройства для штабелировки труб. Трубы небольшого диаметра и шланги обычно не режут, а наматывают в бухты.

Большой практический интерес представляют линии для производства полимерных труб и погонажных изделий на заводе «Большевик» в г. Киеве (табл. 3.17).

3.9. Технологическая линия переработки вторичного полимерного сырья

Проблема переработки полимерных отходов методом рециклинга диктуется в первую очередь интересами защиты окружающей среды. С точки зрения экологических аспектов утилизация отходов полимерных материалов необходима, так как они являются одним из источников загрязнения окружающей среды.

Анализ санитарной очистки городов показывает, что в морфологическом составе бытовых отходов доля полимерных материалов возрастает и сегодня достигла 8-12 %. Следует отметить, что накопление их в составе ТБО увеличивается и опережает возможности переработки, так как методы повторного использования их в виде гранулята вторичного сырья еще не нашли широкого распространения. Существующие технологии рециклинга полимерного «мусора» в основном ориентированы на его монотонный состав.

Наиболее перспективным способом переработки композитных смесевых отходов термопластов являются технологии, позволяющие перерабатывать композитные смеси различных термопластичных полимеров в готовые изделия без заметного ухудшения их физико-механических свойств. Технологические линии такого рода апробированы на ООО «Харьков-вторполимер».

Технологический регламент предусматривает переработку вторичного полимерного сырья, представляющего собой пленочные отходы из ПЭВД и ПЭНД (ТУ63-032-1-89), в гранулированный вторичный полиэтилен (ТУ У24.1-03361715-001-2002), полученный методом рециклинга на линии

**Таблица 3.17 – Техническая характеристика экструзионных установок для производства полиэтиленовых труб
на заводе «Большевик» (г. Киев)**

№ п/п	Наименование периметра	ЛТ 63 х 30 – 25/63 502540	ЛТ 90 х 30 – 75/160 593541	ЛГТ 125- 225/315 593820	ЛТ 160- 200/500 593591	ЛТ 90/32- 63/160 593857	ЛТВ 63- 10/50 593964	ЛТМ-45-10/25 593539
1	Назначение	Предназна- чена для пр-ва труб из ПЭВД и ПЭНД в бухтах и отрезках	Предназна- чена для пр-ва труб из ПЭВД и ПЭНД в бухтах и отрезках	Предназна- чена для пр-ва труб газорас- пределитель- ных сетей	Предназна- чена для пр-ва труб из ПЭВД и ПЭНД	Предназначена для пр-ва труб газораспреде- лительных сетей из поли- этилена сред- ней плотности	Предназна- чена для пр-ва труб водоснаб- жения из полипро- пилена	Предназначена для пр-ва труб из ПЭВД, ПЭНД и ПЭ специального назначения, в т.ч. медицины
2	Диаметр получаемой трубы, мм	25, 32,40,50,65	75, 90, 110, 125,140,160	225, 315	200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500,1000	63, 110, 160	10, 16, 20, 25, 32, 40, 50	10...25
3	Производительность, кг/ч по ПЭВД по ПЭНД	90-225 135-255	150-500 220-500	До 500	До 800	До 400	100	До 80
4	Кинематическая линейная скорость	—	—	До 4	До 4	—	—	—
5	Длина трубы в отрезках, м	5,5; 6,0	12	5-12	5-12	5-12	+	–
6	Потребляемая мощность, кВт	102	235	500	480	260	95	41
7	Длина ванны охлаждения (количество х длина), м	—	—	3 х 6	5 х 6			
8	Габаритные размеры, мм длина ширина высота	36000 2865 2730	53500 3650 3470	68000 4800 3800	66000 5000 4000	60000 5000 4000	32000 2260 2040	19490 1680 2000
9	Масса, кг	9000	18500	44000	56000	18100	7520	53000

переработки пленочных отходов производительностью 100 кг/ч. Метод переработки основан на крупнодисперсном измельчении бытовых пленочных отходов с последующей высокоэффективной отмывкой, агломерацией и грануляцией вторичного полиэтилена.

Технологические процессы измельчения, мойки, агломерации, грануляции и межаппаратного транспортирования сырья и полупродуктов осуществляются на оборудовании, скомпонованном в линию по переработке отходов полимерных материалов, разработанной и изготовленной инженерным предприятием «Экотехника», доработанной и модернизированной в производстве ООО «Харьков-вторполимер».

Технологический процесс подготовки и переработки пленочных отходов состоит из одного технологического потока. Производительность линии – 100 кг/ч.

Получаемый по такому регламенту вторичный гранулированный полиэтилен должен соответствовать требованиям ТУ У 24.1-03361715-001-2002.

Для улучшения физико-механических и технологических свойств вторичного полиэтилена допускается введение модифицирующих добавок в соответствии с технологическими инструкциями или процессами, утвержденными в установленном порядке.

Вторичный полиэтилен выпускают в виде гранул, которые в пределах одной партии должны быть одинаковой геометрической формы и размер их в любом направлении должен быть не менее 2 и не более 6 мм. По согласованию с заказчиком допускаются размер гранул до 10 мм.

Влажность вторичного полиэтилена не должна превышать 0,1 %.

Показатели вторичного полиэтилена должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 3.18.

Вторичный гранулированный полиэтилен используют для изготовления технических изделий и предметов народного потребления, не контактирующих с пищевыми продуктами (каналы для кабелей связи, трубы для орошения, канализации, тара, люки с крышками канализационных колодцев, дождеприемники и др.) и детских игрушек

Вторичный гранулированный полиэтилен, предназначенный для производства труб по ТУ 63.178-90-84, ТУ 6-19-133-79 и других аналогичных изделий, должен быть стабилизирован $2 \pm 0,5$ % технического углерода марки К-354 ГОСТ 7885-86.

При поступлении полимерных отходов на переработку исходное сырье на входном контроле должно соответствовать следующим характеристикам:

- сырье полимерное, вторичное (отходы потребления), необработанное должно соответствовать требованиям ТУ 63-032-1-89 «Сырье полимерное вторичное необработанное» и соответствовать требованиям табл. 3.19;
- полимерное сырье должно заготавливаться в соответствии с действующими санитарными правилами обработки вторичного сырья;
- полимерное сырье должно заготавливаться и поставляться перерабатывающим предприятиям по группам в соответствии с требованиями ТУ 63-032-1-89;
- для полимерного сырья показатель текучести расплава должен быть не менее 0,05 г/мин;

Таблица 3.18

№ п/п	Наименование показателя	Норма для марок					
		А1	А2	А3	А4	Б1	Б2
1	Показатель текучести расплава, г/10мин (не менее)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2	Предел текучести при растяжении, МПа (не менее)	9,0	10,0	10,0	10,0	18,0	20,0
3	Относительное удлинение при разрыве, % (не более)	100	200	300	300	80	100
4	Насыпная плотность, г/см ³ (не менее)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
5	Массовая доля летучих веществ, % (не более)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	Зольность, % (не более)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Таблица 3.19

ТУ № группы	Наименования сырья	Характеристика сырья	Виды загряз- нений	Показатели, обязательные для проверки перед использованием сырья в производстве	
				массовая доля за- грязнений (не более), %	нормиро- ванная влажность, (не более), %
ТУ63-032-1-89 группа 1.1	Вышедшая из упот- ребления пленка, применявшаяся в сельском хозяйстве	Пленка, пленочные изделия из полиэти- лена в виде полотнищ и кусков, применяв- шиеся для укрытия парников, теплиц, рассады на полях, силосных ям, хранилищ для овощей	Взве- шенные вещест- ва	5,0	4,0
ТУ63-032-1-89 группа 1.3	Вышедшие из упот- ребления пленоч- ные изделия, применявшиеся для упаковки и транспортирования продукции	Упаковочная пленка, мешки, пакеты, чехлы, складные контейнеры и др.	Взве- шенные вещест- ва	4,0	2,0

- полимерное сырье не должно содержать посторонних примесей в виде макулатуры, тряпья, металла, дерева, резины, стекла, полимеров другого вида;
- не допускается для полимерного сырья использование мешков и вкладышей из-под ядохимикатов;
- полимерное сырье в местах сбора должно подвергаться тщательной очистке от затариваемых продуктов;
- полимерное вторичное сырье на переработку поставляется только в упакованном виде в кипах массой до 100 кг и более;
- по согласованию с потребителем допускаются другие виды упаковки, обеспечивающие сохранность и качество полимерного сырья при его транспортировании и хранении.

По требованиям входного контроля вторичное полимерное сырье поставляется партиями. За партию принимается количество сырья одной группы, предъявляемое к единовременной сдаче-приемке и оформленное одним документом с указанием:

- наименования поставщика;
- наименования сырья и номера группы;
- номера партии;
- массы брутто;
- массы нетто;
- обозначения технических условий;
- даты упаковки.
- для контрольной проверки соответствия качества сырья требованиям ТУ 63-032-1-89 отбирают пробы в количестве 10 % единиц упаковок от поступившей партии, но не менее трех единиц или 10 % от массы партии сырья при поступлении в неупакованном виде;
- в случае несоответствия партии полимерного сырья требованиям ТУ 63-032-1-89 хотя бы по одному показателю проводят повторную проверку качества сырья. При неудовлетворительных результатах повторной проверки партию в полном объеме возвращают поставщику;
- пересчет массы партии сырья по фактической загрязненности на массу при нормируемой загрязненности производят по формуле

$$m_n = m_\phi \frac{100 + Z_n}{100 + Z_\phi},$$

где m_n – масса сырья с нормированной загрязненностью, кг;

m_ϕ – масса сырья фактическая, кг;

Z_n – нормированная загрязненность сырья, %;

Z_ϕ – фактическая загрязненность сырья, %.

- пересчет массы партии сырья при фактической влажности на массу при нормированной влажности делают по формуле

$$m_n = m_\phi \frac{100 + w_n}{100 + w_\phi},$$

где m_n – масса сырья с нормированной влажностью (кондиционная масса), кг;

m_{ϕ} – масса сырья фактическая, кг;
 W_n – нормированная влажность сырья, %;
 W_{ϕ} – фактическая влажность сырья, %;

- отбор проб для проведения лабораторных испытаний и лабораторные испытания проводят в соответствии с ТУ 63-032-1-89.

Переработку вторичных полимерных пленочных отходов осуществляют на технологической линии, состоящей из комплекса оборудования по переработке пленочных отходов из ПЭВД и ПЭНД в гранулы.

Технологическая схема производства по переработке пленочных отходов состоит из следующих стадий:

- складирования пленочных отходов на складе;
- транспортирования сырья к технологической линии;
- загрузки в моечно-резательный агрегат;
- измельчения и мойки;
- отделения влаги;
- агломерации;
- гомогенизации и пластикации;
- гранулирования;
- отделения влаги от гранул;
- сушки гранул;
- транспортировки гранул в бункер-накопитель;
- растаривания и взвешивания;
- контроля качества готовой продукции;
- транспортировки на склад готовой продукции.

Технология переработки вторичных пленочных отходов по стадиям технологического процесса осуществляется по принципиальной схеме, приведенной на рис.3.36.

Сырье, предварительно распакованное и подготовленное к измельчению вручную, через верхнюю загрузочную воронку подается в моечно-резательный агрегат (рис. 3.31).

Моечно-резательный агрегат состоит из корпуса и станины, на которой смонтированы все узлы. На верхней части вала находятся три лопасти, каждая с двумя ножами на концах. Лопасти расположены на валу под углом 90° друг к другу. Загрузочная воронка размещена в верхней части вертикального цилиндрического корпуса.

Конструктивно агрегат выполнен таким образом, что в процессе работы выброс материала через воронку исключается.

В зоне цилиндрического корпуса находится зона непрерывной выгрузки измельченного материала через разгрузочное отверстие на наклонный лоток.

В средней части корпуса через штуцер подается вода для охлаждения узла корпуса подшипника и отмывки полимерного сырья. Подача воды регулируется вентилем.

В агрегате сырье измельчается на фракции размером не более 20 х 20 мм, которые отмываются водой от налипшей грязи, после чего через нижнюю боковую выгрузочную решетку и наклонный лоток (склиз) поступают в приемник шнекового транспортера (рис. 3.37).

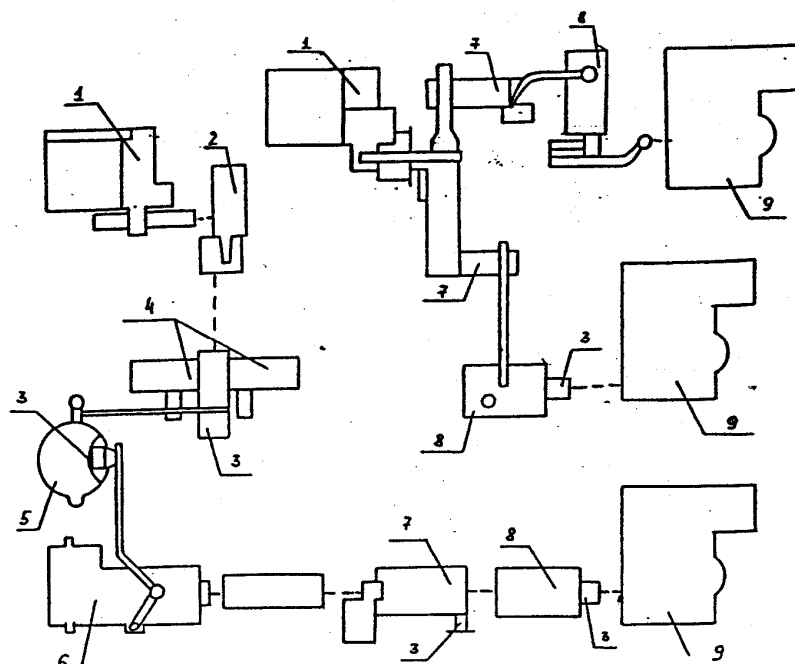


Рис. 3.36 – Принципиальная схема технологии переработки пленочных полимерных отходов:

1 – моечно-резательный агрегат; 2 – отжимной агрегат; 3 – вентилятор пневмотранспорта и сушки; 4 – агломератор; 5 – бункер-накопитель $V=0,85 \text{ м}^3$; 6 – линия гранулирования; 7 – вибросито; 8 – сушилка КС; 9 – бункер-накопитель $V=3,5 \text{ м}^3$, 10 – ванна разделительная флотационная; 11 – пневмотранспорт.

Транспортер шнековый представляет собой трубчатый корпус 5, сваренный из двух толстостенных труб с фланцами для крепления. В верхней части корпуса присоединен мотор-редуктор 1, который неподвижно соединен со шнеками (поз. 2 и 3), имеющими разное направление навивки витков. К нижнему фланцу крепится поддон 7 с фильтром и загрузочным бункером 6. Для выгрузки предусмотрено окно с лотком 8. Трубчатый корпус транспортера шнекового крепится к основанию стойками. Угол наклона корпуса составляет 47° .

Загрязненная вода через перфорированное двойное днище сливается вниз и трубопроводом удаляется в очистные отстойники, а измельченное сырье через лоток выгрузки 8 поступает в рабочую камеру отжимного агрегата. Последний имеет станину, на которой смонтированы все узлы и электродвигатель привода ножей (рис. 3.38).

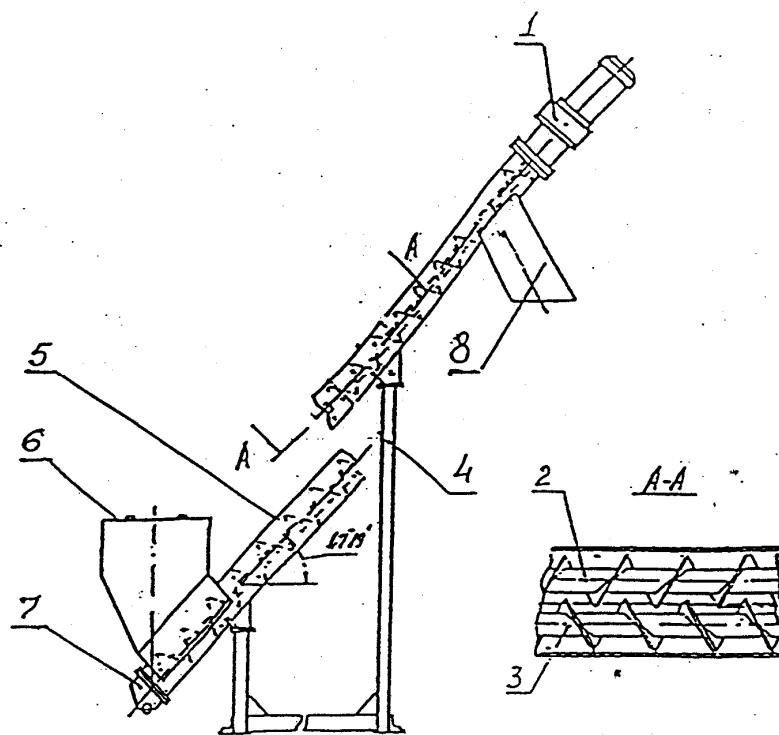


Рис. 3.37 – Транспортер шнековый:

1 – мотор-редуктор; 2-3 – шнек; 4 – стойка; 5 – корпус шнека; 6 – бункер-приемник; 7 – поддон с фильтром; 8 – лоток выгрузки

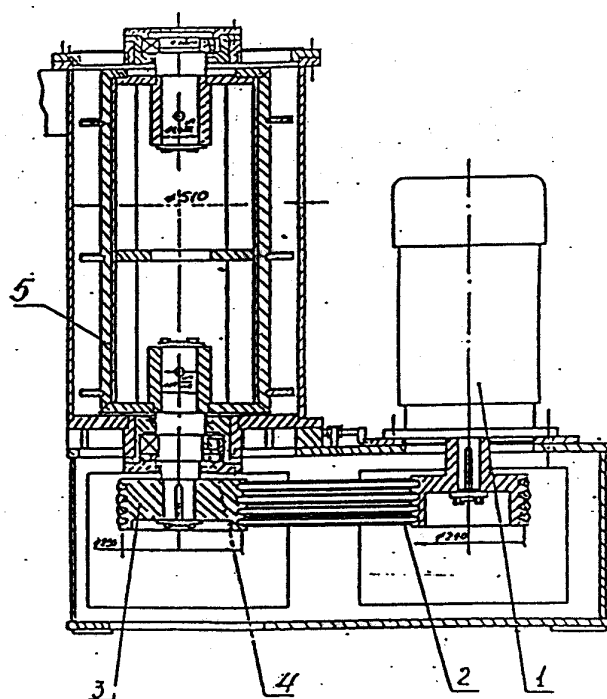


Рис. 3.38 – Агрегат отжимной:

1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – шкив; 4 – подшипник;
5 – корпус камеры отжима

На станине установлена рабочая камера отжимного агрегата, имеющая цилиндрическую форму. В нижней части цилиндра расположен загрузочный патрубок, через который поступает мокрое сырье. В рабочей камере агрегата имеются три решетки на разной высоте для отвода отжимной воды. В верхней части расположен патрубок выгрузки, через который отводится отжатый материал.

Измельченное мокрое сырье через загрузочный патрубок шнекового транспортера принудительно поступает в рабочую камеру отжимного агрегата и начинает движение вверх по спирали под воздействием вращающегося ротора. Вода под воздействием центробежной силы подается в лоток слива и через трубопроводы поступает в хозяйственную канализацию, предварительно пройдя очистку в отстойниках.

Отжатый материал достигает патрубка выгрузки и удаляется из рабочей камеры в металлический ящик-контейнер. Далее материал поступает в агломератор на агломерацию.

Загрузка перерабатываемого материала в агломератор производится оператором вручную.

Агломератор имеет станину, на которой смонтированы все узлы агломератора и электродвигатель привода ножей (рис. 3.39).

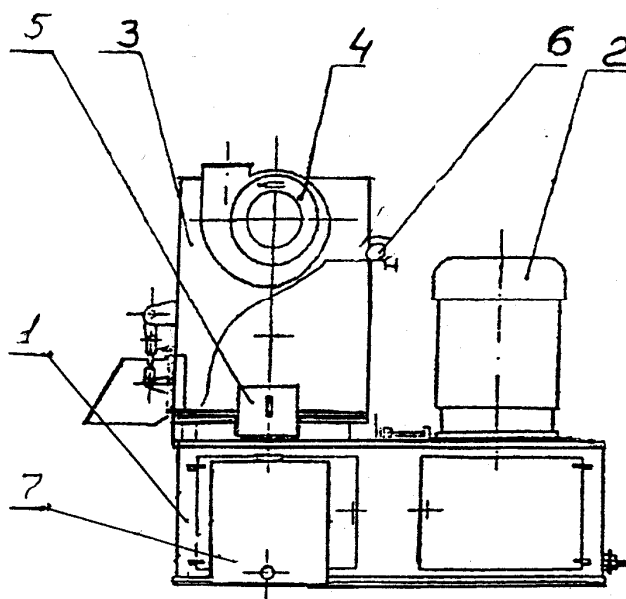


Рис. 3.39 – Агломератор:

1 – станина; 2 – электродвигатель; 3 – корпус рабочей камеры; 4 – вентилятор рабочей камеры;
5 – выгрузка агломерата; 6 – подача воды в рабочую камеру; 7 – фильтр слива воды.

На станине 1 смонтирован рабочий корпус 3 агломератора, имеющий цилиндрическую форму. Внутри корпуса установлен ротор, представляющий собой вертикальный вал, на котором расположены ножи под углом 90° и 45° .

В агломераторе осуществляются сушка и агломерация измельченных пленочных отходов за счет тепла, выделяющего при трении частиц пленки между собой, и рабочие органы аппарата при вращении ротора.

Количество загружаемого материала (разовая загрузка) не должно превышать 14 кг и устанавливается оператором, исходя из величины потребляемой мощности электродвигателем агломератора, которая к концу загрузки должна составить 40-60 %. Попадая на вращающиеся ножи, материал измельчается, агломерируется и подсушивается. Образовавшийся при этом пар удаляется вентилятором.

По окончании сушки, о чем свидетельствует отсутствие паров влаги, разогрев продолжается и при достижении температуры 100-110°C материал подплавляется. Максимальное значение силы потребляемого тока (не превышающее 50 А) соответствует моменту агломерации полимера. Для предотвращения слипания частиц агломерация осуществляется фиксированием его формы путем введения «шоковой» воды (в количестве до 4 % от массы загружаемого материала). Момент введения «шоковой» воды выбирает оператор на основании показаний амперметра и визуального контроля.

Образовавшийся агломерат подсушивается в агломераторе в течение 1,5–2 мин, после чего выгружается. Выгрузка происходит за счет центробежных сил через отверстия в нижней части установки при открытой заслонке и производится в приемный лоток пневмотранспорта. Из приемного лотка материал пневмотранспортом по трубопроводу подается в промежуточный бункер-накопитель емкостью 0,85 м³ (рис. 3.40).

Заполнение бункера контролируется по датчику уровня.

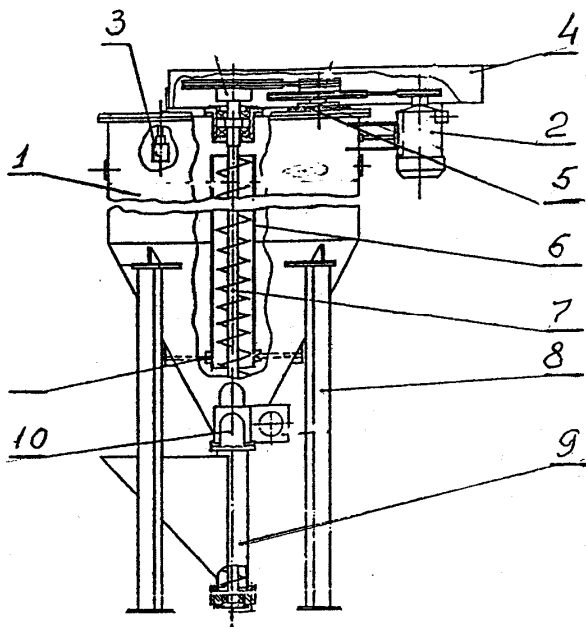


Рис. 3.40 – Бункер $V = 0,85 \text{ м}^3$:

- 1- корпус; 2 – электродвигатель; 3 – датчик уровня; 4 – кожух привода; 5 – привод питателя-ворошителя агломерата; 6 – корпус питателя-ворошителя; 7 – шнековый питатель ворошителя; 8 – стойка опорная; 9 – бункер-лоток выгрузки; 10 – шибер патрубков пневмотранспорта.

Для выгрузки материала из бункера необходимо открыть шибер на патрубке. Из патрубка материал поступает в приемный лоток пневмотранспорта и по трубопроводу подается в загрузочный бункер пресса червячного (экструдера), входящего в состав линии гранулирования. На рис. 3.41 показан общий вид линии гранулирования в опытно-экспериментальном производстве ООО «Харьков-вторполимер».



Рис. 3.41 – Линия гранулирования переработки полимерных отходов пленки

Пресс червячный предназначен для пластикации и гомогенизации термопластов. Он состоит из станины, на которой установлены два материальных цилиндра со шнеками, приводящимися во вращение общим приводом с помощью электродвигателя.

Каждый из цилиндров имеет пять автономных регулируемых зон обогрева.

На выходе из цилиндров установлен фильтр для очищения расплава, поступающего из двух цилиндров, от твердых посторонних включений с последующим соединением двух потоков расплава в один.

Конструкция фильтра позволяет проводить очистку сеток без разборки фильтра.

Материал из загрузочного бункера поступает в цилиндры двухшнекового пресса, захватывается шнеками и подается вдоль цилиндра. Глубина витков шнека в направлении движения материала уменьшается в соответствии с зонами загрузки агломерата, сжатия и дозирования.

Под воздействием тепла от нагревателей, а также за счет тепла, выделяющегося от трения рабочей винтовой поверхности шнека и цилиндра с перерабатываемым материалом последний плавится и транспортируется из зоны загрузки в направлении зон сжатия и дозирования.

В зоне сжатия происходит удаление воздуха из материала и его переход из твердого в термопластичное высоковязкое состояние.

В зоне дозирования материал накапливается, гомогенизируется, уплотняется, а затем равномерным потоком выдавливается через фильтр.

К фильтру на резьбе присоединена стренговая головка, в которую из фильтра выдавливается расплав. Стренговая головка предназначена для получения стренг определенного диаметра. В угловую головку ввинчивается распределитель (групповая фильера) с 12 равномерно расположенными отверстиями.

Для поддержания заданной температуры и ее контроля на головке установлены омический обогреватель и термopара.

Стренги, выходящие из головки, погружаются в ванну с водой и заправляются под прижимные барабаны подающего устройства 8 (рис. 3.34).

Всего на ванне смонтировано четыре барабана, которые могут быть установлены в любом месте на любом уровне относительно зеркала воды. Вода в ванне должна быть проточная, уровень ее поддерживается конструкцией ванны.

Охлажденные стренги после ванны направляются в узел порезки стренг на гранулы. Каждая стренга должна находиться в своем ручье.

Принцип работы узла порезки 7 (рис. 3.34) гранулятора заключается в следующем. От электродвигателя через клиноремennую передачу крутящий момент передается на вал режущей головки. На валу находится фреза. Стренги перемещаются к фрезе двумя валками. Прижимной ролик обеспечивает плотный контакт стренг и валков.

Комплект шестерен поставляется с гранулятором и обеспечивает получение гранул двух типоразмеров в зависимости от вариантов сборки. Фрезой стренги режутся на гранулы заданного типоразмера. По наклонному лотку гранулы поступают на вибросито (рис. 3.42).

Вибросито состоит из рамы, вибратора, корыта с перфорированным двойным дном, на котором происходит механическое отделение воды от материала. Направление вибрации выбрано таким образом, чтобы материал при движении по наклонной плоскости вверх отряхивал со своей поверхности воду.

Отделенная вода сливается с нижней части корыта в трубопровод канализации. Материал попадает в приемный лоток пневмотранспорта.

Принцип работы вибросита заключается в движении измельченного полимерного материала (гранул) по поверхности сетки под действием инерционных сил, создаваемых вибрирующим коробом.

В процессе движения материал разделяется на две фракции с размерами частиц до 5 и более 5 мм, одновременно происходит выделение из него воды. Крутящий момент от двигателя 2 через клиноремennую передачу 5 передается на

эксцентриковый вал вибратора 3. Вращаясь, вал передает колебательные движения тяге 9, закрепленной на коробе. Короб установлен на плоских пружинах или торсионах. Измельченные полимерные гранулы под действием колебаний короба двигаются вверх по наклону сеток, разделяются на фракции до 5 мм и более. Разделенные фракции удаляются через лотки 12 и 13 на пневмотранспорт. Последний состоит из вентилятора с электродвигателем мощностью $N = 2,2 \text{ кВт}$ и $n = 3000 \text{ об/мин}$, металлопровода, представляющего собой трубу квадратного сечения $80 \times 80 \text{ мм}$, циклона и рукавного фильтра.

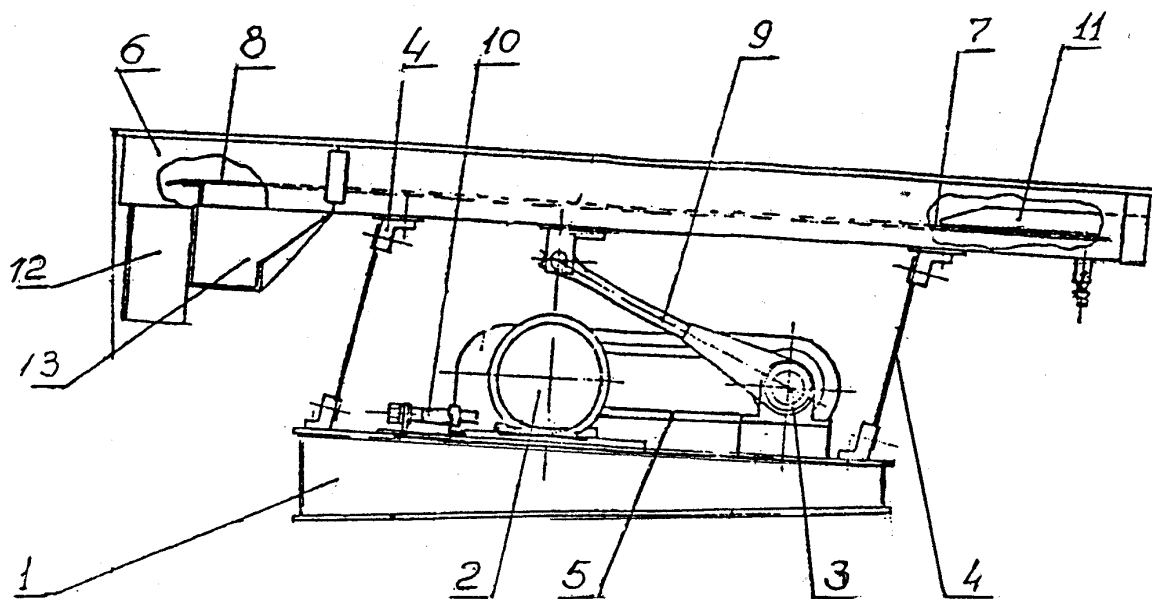


Рис. 3.42 – Вибросито:

1 – подставка; 2 – электродвигатель; 3 – вибратор; 4 – пружина вибратора; 5 – клиноременная передача; 6 – короб вибросита; 7-8 – сетка; 9 – рычаг-тяга вибратора; 10 – регулятор натяжения; 11 – лоток загрузочный; 12-13 – лотки выгрузки фракций гранул

Гранулированное или измельченное полимерное сырье из приемного лотка пневмопровода попадает на лопатки вращающегося колеса вентилятора. Создаваемый вращающимся колесом воздушный поток подхватывает сырьевой материал и транспортирует его по металлопроводу квадратного сечения к циклону, где линейная скорость материала гасится и он оседает в приемный бункер-емкость. Пыль и мелкодисперсные взвеси оседают в матерчатом рукавном фильтре периодического действия.

Измельченный гранулированный материал по пневмопроводу попадает в сушилку (рис.3.43). Она состоит из станины, сушильной камеры, двух вентиляторов, двух блоков теплоэлектронагревателей. Дно сушильной камеры перфорировано, через отверстия подается горячий воздух, который способствует перемещению материала вдоль камеры. Камера имеет четыре смотровых окна, которые позволяют наблюдать за ходом технологического процесса.

В сушке материал направляется потоком нагретого до заданной температуры с помощью теплоэлектронагревателей воздуха и подсушивается до остаточной влажности (не более 0,1 %).

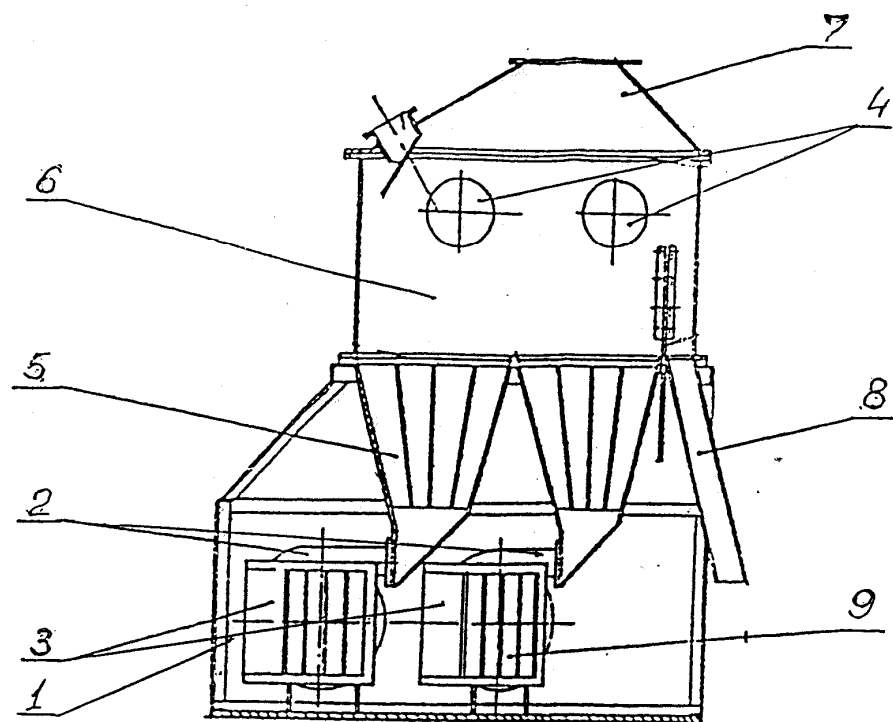


Рис. 3.43 – Сушилка камерная КС:

- 1 – станина; 2 – вентиляторы; 3 – блоки теплоэлектронагревателей; 4 – смотровые люки;
5 – распределители нагретого воздуха; 6 – камера сушки; 7 – крышка корпуса;
8 – лоток выгрузки; 9 – жалюзи термодатчиков

Высушенный материал пневмотранспортом по трубопроводу поступает в бункер-накопитель емкостью $V = 3,5 \text{ м}^3$ (рис.3.44) с последующим растариванием и контролем качества (приемкой).

Вторичный гранулированный полиэтилен поставляется для приемки партиями усредненного в бункере накопителя.

Каждую партию полиэтилена или поставленную ее часть сопровождают документом, удостоверяющим его качество с указанием необходимых данных в установленном порядке.

Для контрольной проверки отбирают пробы по 10 % от общей партии или поставленной ее части, но не менее чем из трех мешков в количестве 1 кг.

В случае использования вторичного полиэтилена на заводе-изготовителе пробы нужно отбирать из бункера-накопителя продукции не менее 1 кг (рис.3.44).

Отобранные пробы соединяют вместе, тщательно перемешивают и помещают в тару, на которой наклеивают этикетку с указанием наименования продукта, марки, номера партии, даты изготовления и даты отбора пробы.

При неудовлетворительных результатах испытания хотя бы по одному из показателей технических требований отбирают повторную объединенную пробу с удвоенным количеством мест партии, которую подвергают повторным испытаниям по показателям, не выдержавшим первой проверки.

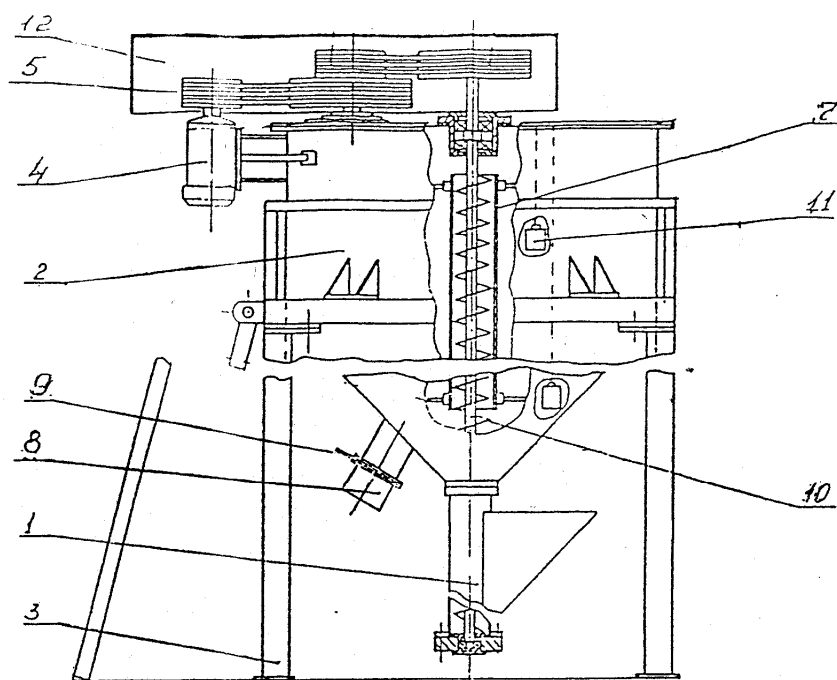


Рис. 3.44 – Бункер-накопитель $V = 3,5 \text{ м}^3$:

1 – загрузка; 2 – корпус; 3 – стойки эстакады; 4 – электродвигатель; 5 – клиноременная передача; 7 – гильза питателя; 8 – патрубок выгрузки; 9 – шибер; 10 – шнековый питатель; 11 – датчик уровня; 12 – кожух.

В случае неудовлетворительных результатов повторных испытаний партию забраковывают.

Вторичный полиэтилен растаривают в бумажные (ГОСТ 2226-88) или полиэтиленовые (ГОСТ 17811-78) мешки. Бумажные мешки должны быть зашиты или плотно завязаны, а полиэтиленовые заварены. По согласованию с потребителем допускается изменять вид упаковки.

При переработке вторичного полиэтилена в изделия непосредственно на заводе-изготовителе допускается упаковывать его в любую заводскую тару согласно действующим нормативно-техническим документам.

Масса вторичного полиэтилена в мешках должна быть не более 25 кг.

Нормативы и соблюдения требований регламента технологической линии переработки вторичных пленочных отходов приведены в табл. 3.20; 3.21; 3.22; 3.23; 3.24.

Таблица 3.20 – Нормы технологического режима

Наименование стадий или операций	Наименование оборудования	Наименование технологических показателей и их значение		
Измельчение и мойка	Моечно-реза- тельный агрегат	Потребляемый расход воды, 1 м ³ /ч	Температура воды °С, 15-20 °С	
Агломерирование	Агломератор	Потребляемый расход воды, 1 – 0,05 м ³ /ч Одноразовая загрузка не более 14 кг	Температура воды °С, 15-20 °С	
Грануляция вто- ричного полиэти- лена; пластикация, гомогенизация	Пресс червячный	Температура цилиндра по зонам: t ₁ = 110 –130 °С; t ₂ = 130-150° С; t ₃ = 145 -165° С; t ₄ = 155-175° С; t ₅ = 160-180° С;	Температура головки: T ₂ = 160 -180° С;	
Охлаждение стренг	Ванна охлаждения	Потребляемый расход воды, 0,2 м ³ /ч	Температура воды °С, 15-40 °С	
Гранулирование	Гранулятор	Размер гранул 2-6 мм		
Сушка вторичного гранулированного полиэтилена	Сушка	Исходная влажность не более 12%	Конечная влажность не более 0.1 %	Температура сушки 70-80 °С

Таблица 3.21 – Контроль производства и управления технологическим процессом

Наименова- ние процесса, места измере- ния параметра	Контролируе- мый параметр	Нормы и технические показатели	Методы испытаний и средства контроля	Частота контроля	Кто контро- лирует
1	2	3	4	5	6
1. Входной контроль пленочных отходов	Показатель теку- чести расплава	Не менее 0,05 г/10 мин.	В соответствии с ГОСТ 11645-73	Каждая партия	Лабора- тория
	Влажность поли- мерного сырья (отходов пленки)	Не более 4 %	В соответствии с приложением 6 ТУ 63-032-1-89	- // -	- // -
	Массовая доля загрязненности полимерного сырья	Не более 5%	В соответствии с приложением 6 ТУ 63-032-1-89	- // -	- // -
2. Грануляция вторичного полиэтилена	Температура по зонам цилиндра пресса и головки гранулирующей	В соответств. с табл. нас- тоящего регламента	Показывающий термометр	1 раз в смену	Оператор, технолог, мастер
	Температура охлаждающей воды	На входе 20-25 °С На выходе 25-30 °С	- // -	2 раза в смену 1 раз в смену	Оператор, технолог

1	2	3	4	5	6
3. Сушка вторичного полиэтилена	Температура сушильной камеры	На входе 80-90 °С На выходе 70-80 °С	Показывающий термометр	2 раза в смену 1 раз в смену	Оператор, мастер
4. Контроль готовой продукции	Показатель текучести расплава	Не менее 0,2 г/10 мин	В соответствии с 4.1, ТУ 63.178-74-88	Каждая партия	Лаборатория
	Определение влажности	Не более 0,1 %	В соответствии с ОСТ 63.8-81	Каждая партия	- // -
5. Упаковка продукции	Внешний вид упаковки и правильность заполнения ярлыка			Каждая партия	ОТК, технолог, бригадир

Таблица 3.22 - Возможные неполадки в работе технологической линии и способы их ликвидации

Виды проявления неполадок	Возможные причины	Действия персонала и способы устранения неполадки
1	2	3
1. Недостаточная отмывка материала.	Недостаточное количество воды	Прочистить магистраль подвода воды
2. Недостаточное измельчение материала.	Затупились рабочие кромки ножей	Заточить или заменить ножи
3. Затруднен выход измельченного сырья.	Засорена сетка	Открыть кожух и прочистить сетку
4. Повышение шума и вибрации.	Ослабление крепления узлов	Подтянуть крепеж
	Ослабление натяжения клиноременной передачи	Подтянуть ремни
5. Материал не агломерируется.	Недостаточная загрузка агломератора	Увеличить загрузку
	Пленка переизмельчена	Добавить крупнодисперсной пленки
6. Возросла потребляемая мощность агломерирования	Превышение загрузки	Уменьшить загрузку
	Износ ножей	Заменить ножи
7. Повышенная влажность агломерата	Недостаточное время сушки агломерата	Увеличить время сушки
	Введение большого количества «шоковой воды»	Отрегулировать количество «шоковой воды»
8. Газовыделение при грануляции	Повышенное содержание влаги в агломерате	См. п. 7
	Повышенная температура переработки	Проверить систему контроля и регулирования температуры, установить необходимую температуру
9. Некачественная порезка гранул	Затупление режущего инструмента	Заточить режущий инструмент
	Большой зазор между фрезой и резцом	Отрегулировать зазор между фрезой и резцом

1	2	3
10. Гранулы увеличенной длины	Передаточное отношение гитары порезки стренг не соответствует нужной длине гранулы	Подобрать необходимое передаточное отношение шестерень зубчатого зацепления
11. Неравномерное вращение фрезы	Слабое натяжение клиноременной передачи	Натянуть ремни привода

Таблица 3.23 – Характеристики летучих продуктов термоокислительной деструкции

Перерабатываемый материал	Наиболее характерные вредные вещества для данной группы материала				Рекомендации по улавливанию и обезвреживанию
	Наименование	Количество, г/кг	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	
Полиэтилен	Формальдегид	0,008	0,5	2	Рассеивание через трубу с факельным выбросом
	Ацетальдегид	0,07	5,0	3	
	Органические кислоты в пересчете на уксусную	0,4	5,0	3	
	Окись углерода	0,8	20,0	4	
	Аэрозоль полиэтилена	0,004	10,0	3	Улавливание фильтрами

Пары воды, образующиеся на стадии агломерирования пленочных отходов, вредных веществ не содержат и не требуют специальных методов очистки.

Таблица 3.24 - Материальный баланс на изготовление 1 т продукции (проектный)

Приход			Расход		
Состав	%	кг	Состав	%	кг
Сырье вторичное полимерное необрабо- танное (ТУ63-032- 1-89)	100	1138,3	Полиэтилен вторичный гранулированный ТУ 63-178-74-88	100	1000
			Технологические безвозвратные потери, в том числе летучие продукты, угар Технологические безвозвратные отходы: резка чистка инструмента (головки экструдера и шнека)	0,15	1,5
				0,1	1,0
				0,13	1,3
			Безвозвратные отходы, в том числе: грязь, песок, влага, прочие	5	50
				4	40
0,25	2,5				
			Используемые отходы	4,2	42
Итого:	100	1138,3		113,83	1138,3

Примечание: В процессе производства нормативные расходные коэффициенты могут быть уточнены.

Технические решения рассматриваемых технологий переработки полимерных отходов обеспечивают все нормативы охраны окружающей среды без превышения норм предельно-допустимых концентраций (ПДК) выделяемых вредных веществ в процессе рециклинга полимеров. По приведенным в таблицах расчетным данным воздействие на окружающую техногенную среду остается без изменений.

В процессе переработки отходов полимерных материалов используется сырье полимерное вторичное необработанное, которое при нормальных условиях не выделяет в окружающую среду токсичных веществ и не оказывает при непосредственном контакте влияния на организм человека. Работа с ним не требует особых мер предосторожности. При переработке его при температуре более 140 °С возможно выделение летучих продуктов термоокислительной деструкции, содержащих вредные вещества, состав и характеристики которых приведены в табл. 3.23.

Работа линии допускается только при работающих приточно-вытяжной вентиляции и местных вытяжных устройствах (короба, зонты).

Технологическая линия переработки одноразовой посуды из полистирола, полипропилена и полиэтилена по отдельным стадиям технологического процесса мало отличается от технологии переработки пленочных полимерных отходов, описанной в параграфе 3.9.

Особенностью линии переработки посуды разового потребления от сети «Макдональдс» является разделение полимерных отходов на тяжелую и легкую фракции в разделительной ванне флотации рис. 3.16.

После моечно-резательного агрегата в разделительной ванне легкая (всплывающая) фракция полипропилена удаляется с зеркала ванны ленточным транспортером. Ленточный транспортер с поперечными перемычками (лопастями) способствует равномерному движению измельченного материала (полипропилена) по поверхности воды в конец ванны.

Тяжелая (тонущая) фракция полистирола выводится из нижней части ванны шнековым транспортером. Каждый из видов измельченного полимерного материала поступает по наклонному лотку на вибросито.

При переработке полимерных отходов сферы потребления узким местом являются подготовительные операции: степень измельчения, мойка и удаление влаги. Поэтому перерабатывающие производства применяют в основном однотипные технологии переработки полимерных отходов и в то же время основные узлы и агрегаты имеют принципиально отличающиеся технические особенности в процессе их модернизации.

3.10. Энергосберегающие технологии отхоодообращения

Одним из распространенных методов термического разложения полимерных отходов при утилизации бытовых отходов являются сжигание и пиролиз. Композиционные смеси полимерных отходов из полиэтилена (ПЭ), полистирола (ПС), полипропилена (ПП), полиэтилентерефталата (ПЭТФ, ПЭТ – бутылок) и твердые бытовые отходы накапливаются на полигонах, несанкционированных стихийных свалках. Во многих случаях сжигание и пиролиз представляются наиболее энергетически и экономически выгодными энергосберегающими технологиями отхоодообращения.

Технология сжигания с использованием получаемого тепла приобретает особое значение в условиях энергетического кризиса. Теплотворная способность (удельная теплота сгорания) отдельных компонентов, входящих в состав ТБО, довольно высокая.

Полимерные отходы в несортированном виде вместе с бытовыми отходами составляют наиболее энергетически обогащенную составную часть так называемого «мусорного» топлива. По ориентировочным оценкам до 2 % энергетических потребностей в тепловой энергии г. Харькова можно удовлетворить, сжигая значительную часть городского мусора в тепловых установках ТЭЦ, предварительно превратив ТБО в «мусорное» топливо в виде брикетов или легковесных композиционных фракций. Теплота сгорания обычного бытового мусора составляет до 2000 кКал/кг, удельная теплота сгорания полимерных отходов – 4156-10986 кКал/кг.

Таблица 3.25 – Сравнительная характеристика удельной массовой теплоты сгорания

№ п/п	Наименование топливной фракции	Удельная теплота сгорания, кКал/кг	Примечание
1	2	3	4
1.	Твердое топливо древесина торф кусковой антрацит (АП) древесный уголь	2400 2560 7240 7100	1 дж = 4186,8 кКал/кг
2.	Жидкое топливо мазут нефть бензин	9400 10557 10600	
3.	Газообразное топливо природный газ	8500 кКал/м ³	

1	2	3	4
4.	Топливо из мусора бумага, макулатура кожа бытовой домашний мусор полиэтилен, полиэтилентерефталат (ПЭТ - бутылки) брикеты из смешанных дробленых отходов разовой посуды, используемой сетью кафе «Макдональдс»	2198 3861 1549 – 2152 10986 4600 - 5000	Требуется под- тверждение термо- графических исследований на уровне апробации НИР

При сжигании «мусорного» топлива целесообразно его разделять или обогащать отдельными компонентами полимерных составляющих для достижения более высоких температур горения котельно-топочных установок. Важно, чтобы до загрузки полимерного «мусорного» топлива температура камеры сжигания была не ниже 1100 С⁰. При сжигании «мусорного» топлива с содержанием полимерных отходов до 5 % не возникают проблемы образования диоксинов. При содержании их более 10-15 % рекомендуются сжигание в специальных печах или очистка образующихся дымовых газов, содержащих токсичные компоненты (диоксины, аммиак, хлор, сернистый газ, хлороводород, нитрозные газы) перед выбросом их в атмосферу. В любом случае необходимым требованием защиты окружающей среды является оборудование пылеочистки тканевыми и электрическими фильтрами. Пылегазоочистные установки, используемые при сжигании бытовых отходов, дорогостоящие и сложные в эксплуатации, но несмотря на это экономия энергии при сжигании «мусорного» топлива остается сегодня важнейшим направлением в сфере управления и обращения с отходами. Производство тары и упаковки является энергозатратным, поэтому расходы могут быть компенсированы энергией, получаемой при сжигании «мусорного» топлива.

Значительная часть полимерных отходов имеет более высокую скорость горения и требует большего количества воздуха, чем бытовые отходы города. Поэтому необходимо их совместное сжигание или изготовление композиционного «мусорного» топливного брикета или легковесных измельченных фракций.

Перспективным способом утилизации смесей из полимерных отходов, содержащих ПВХ, ПЭ, ПП, ПС и ПЭТФ, является пиролиз, позволяющий получать химическое сырье для новых синтезов или горючее для энергетических ресурсов.

Энергия, полученная при полном сжигании разнородных компонентов «мусорного» топлива, входящих в состав ТБО, с обязательным включением

составляющей полимерных отходов, может полностью покрыть потребность в энергозатратах на удаление накопленных бытовых отходов города.

ГКП «Харьковкоммуночиствод» совместно с НИПИ «Энергосталь» провели термографические исследования проб твердых бытовых отходов, образующихся на пищевых предприятиях сети «Макдональдс». Были исследованы три образца компонентов бытовых отходов посуды разового использования:

- бумага (основной составляющий компонент) – 66,9 % отходов разовой посуды «Макдональдс»;
- полиэтилен - более 12 % отходов;
- образец «мусорного» топлива в виде брикета.

Результаты исследований представлены на рис. 3.45, 3.46, 3.47.

Исследования показали, что при нагреве образцов «мусорного» топлива до 1000 °С происходит значительная потеря массы:

- для бумаги – 97 %;
- для спрессованного брикета «мусорного» топлива – 95 %.

Сегодняшняя кризисная энергетическая ситуация требует увеличения доли местного твердого топлива в энергетическом балансе, в том числе не исключается более широкое использование низкосортного «мусорного» топлива в виде брикетов горючих компонентов ТБО.

Для жилищно-коммунальной энергетики города использование низкосортного твердого топлива, особенно «мусорного» топлива из ТБО усложняется жесткими требованиями к охране окружающей среды, а также технической неоснащенностью морально устаревших котельных установок с котлами типа «Универсал», НИИСТу – 5 и т.п. Значительно сократить затраты на реконструкцию существующих котельных установок, повысить надежность процесса сжигания твердого топлива, сохранить высокую интенсивность процесса горения, в том числе низкосортного «мусорного» топлива, уменьшить выбросы продуктов горения в атмосферу позволяет технология сжигания топлива в «полукипящем» слое. Такое сжигание успешно реализуется в конструкциях стальных котлов водогрейных жаротрубно-дымогарных моделей КВ – 0,7 КБ/Гс; КВ – 1,0 КБ/Гс; КВ – 1,5 КБ/Гс совместной разработки Тамбовского государственного технического университета и Ассоциации топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. КПД этих котлов не ниже 75 % при работе на твердом топливе и 91 % - на природном газе.

Реальную возможность для сжигания твердого «мусорного» топлива и решения энергетической проблемы дает установка для утилизации ПМУ – 150 М совместной разработки ЮЖД и Харьковской НПФ «Технология» СВНЦ НАН Украины. Техническая характеристика этих котельных установок приведена в табл. 3.26.

Таблица 3.26 – Сравнительная техническая характеристика котельных установок

№ п/п	Марка, тип котла (установки)			
	Котел КВ – 1,5 КБ/Гс (Тамбов, РФ)		Мусоросжигательная установка ПМУ – 150 М (Харьков, Украина)	
	Техническая характеристика		Техническая характеристика	
1	Номинальная теплопроизводительность (МВт)	1,5	Производительность стационарной установки т / ч ($\text{м}^3 / \text{ч}$)	До 1,0 (4,5)
2	Расход условного твердого топлива (кг.у.т/ч)	246	Удельный расход жидкого топлива (кг/т)	3
3	Установленная мощность электродвигателя (кВт)	7	Потребляемая мощность (кВт)	22
4	Температура воды на выходе котла ($^{\circ}\text{C}$, не выше)	115	Теплотворная способность сжигаемых ТБО ($\text{МДж}/\text{м}^3$)	720 – 1300
5	КПД котла (% не ниже)	75	Удельный расход электроэнергии ($\text{кВтч}/\text{т}$)	70
6	Габариты котла (мм)	3200х 1500х 2200	Масса установки с платформой и металлоконструкция (т)	До 78
7	Патент, изобретение, разработка	Патент РФ RU 2168678 С2	Разработка	Пром. испытания
8	Стоимость (с учетом НДС)	До 40,0 тыс. грн.	Себестоимость переработки ТБО (грн./т)	До 45

Обычное сжигание бытовых отходов позволяет получить экологогигиенический, в пределах допустимых концентраций, остаток в виде шлака в объемах, значительно меньших объемов ТБО до сжигания. Получаемая при этом теплота может использоваться для поддержания процесса горения или для нагрева теплоносителя обогревательных приборов и установок.

Важной проблемой является нахождение альтернативных источников энергии с использованием полимерных отходов. Существующих запасов нефти, угля и природного газа тогда хватит на многие сотни лет.

Одна из оценок ресурсов энергии (в млн.т угольного эквивалента) была дана в 1979 г. в отчете Фонда Форда под названием «Энергия – следующие 20 лет»:

Твердое топливо	- 648000
Сырая нефть	- 136000
Природный газ	- 94000
Итого	- 878000 .

Термографический анализ прессованных отходов одноразовой посуды от сети «Макдональдс»

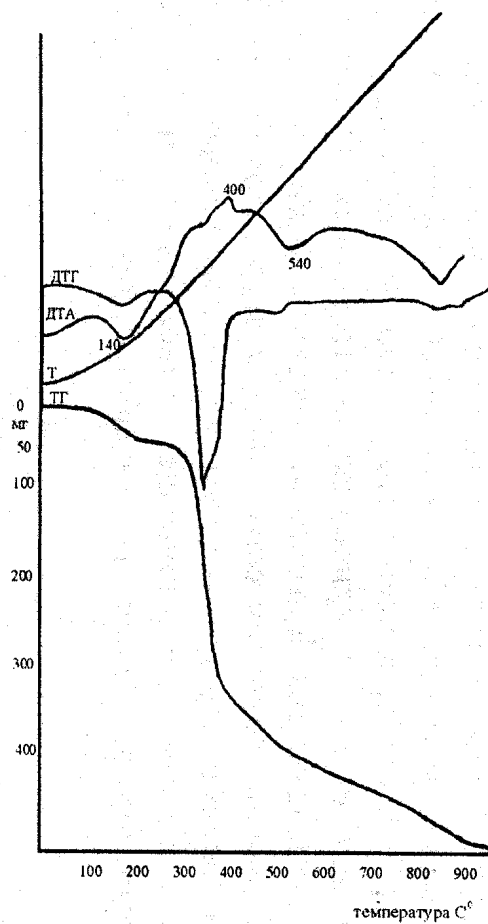


Рис. 3.45 – Дериватограмма бумаги, входящей в состав твердых бытовых отходов пищевых предприятий сети «Макдональдс»

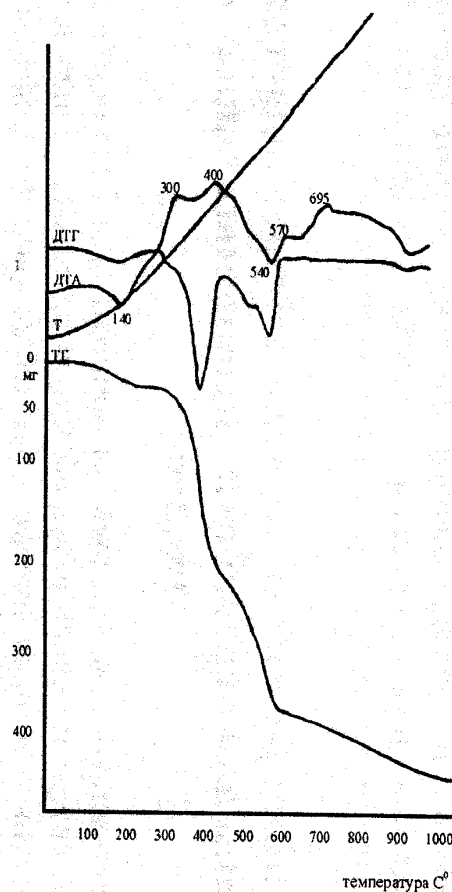


Рис. 3.46 – Дериватограмма образца брикета компонентного состава твердых бытовых отходов пищевых предприятий сети «Макдональдс»

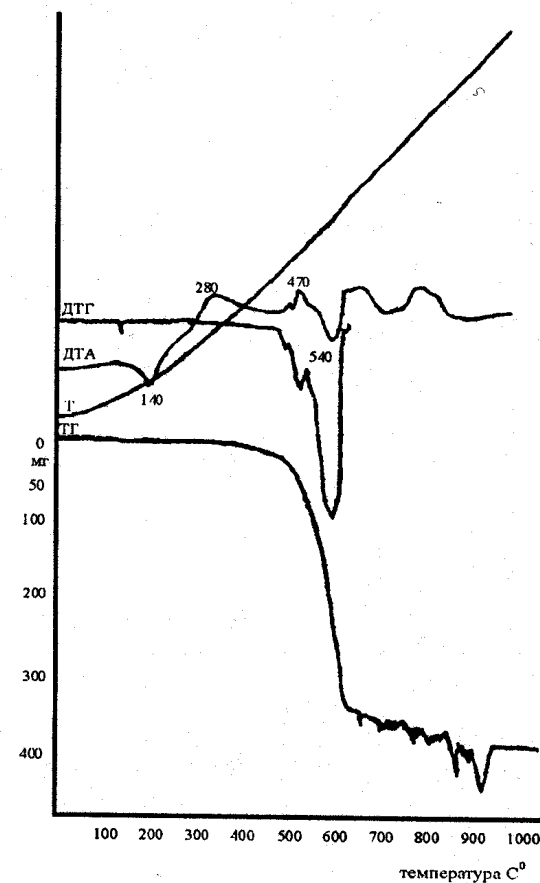


Рис. 3.47 – Дериватограмма полиэтилена, входящего в состав твердых бытовых отходов пищевых предприятий сети «Макдональдс»

При современных объемах потребления этих ресурсов природные запасы их не так уж велики, поэтому необходимо развивать энергосберегающие технологии возобновления ресурсов. Сдерживание этих технологий связано скорее с экономическими, чем с техническими причинами, но положение изменится по мере истощения невозобновляемых ресурсов.

Значительное количество энергии тратится на производство и использование полимерной тары и упаковки, но учесть все факторы трудно. Общее количество используемой энергии – комплексная величина и если делать сравнения, нужно учитывать следующие составляющие:

- 1) энергию для добычи сырьевых материалов;
- 2) энергетическую стоимость сырья;
- 3) энергию на транспортировку сырья к месту переработки;
- 4) энергию переработки;
- 5) энергию на утилизацию и переработку полимерной тары и упаковки как вторичного сырья.

Таким образом, используя имеющиеся технологии сжигания и утилизации «мусорного» топлива с учетом технической характеристики и степени очистки отходящих газов, отвечающей санитарно-эпидемиологическим нормам, автономности, номинальной теплопроизводительности, простоте обслуживания, стоимости, можно частично решить проблему городских отходов в тесной связи с энергетической проблемой коммунального хозяйства города.

3.11. Тенденции развития технологий производства и оборудования для переработки вторичных сырьевых отходов

Проблема рационального использования природных и вторичных ресурсов, охраны окружающей среды по своей актуальности и сложности занимает одно из ведущих мест в научных и практических исследованиях. Важными при этом являются вопросы экологического и экономического характера, включая управление отхоодооборотом, использование природных ресурсов и охрану окружающей среды. Большинство проблем охраны окружающей среды и вовлечения вторичных ресурсов в промышленную переработку имеют дискуссионный характер. Отсутствует методический подход к однозначному решению этих проблем с целью удовлетворения потребностей вторичных ресурсов в виде вторичного сырья как резерва ископаемых природных ресурсов.

Рациональное использование природных и вторичных ресурсов, охрана окружающей среды определяются большим количеством факторов (технических, технологических, социально-экономических и др.), которые прямо или косвенно связаны со всеми отраслями народного хозяйства. В этих условиях необходимо создавать и внедрять в жизнь экономические оценки природных и вторичных ресурсов как на стадии планово-проектных разработок, так и на их практической реализации.

При определении экономической эффективности капитальных затрат нужно учитывать изменения окружающей среды, которые могут возникнуть в результате создания новых производственных мощностей по переработке вторичных ресурсов, в частности полимерных отходов и ПЭТ-бутылок как значительной составляющей отходов потребления.

Согласно теории оптимального планирования экономическая оценка природных ресурсов имеет цель создать преграду расточительному к ним отношению. Но здесь необходимо знать оправданную с общественных позиций величину затрат, ведущих к уменьшению расхода данного природного ресурса при условии удовлетворения одних и тех же общественных потребностей с учетом поэтапного вовлечения в производственную сферу вторичных сырьевых отходов. Экономичное отношение к природным ресурсам при условии вторичной переработки сырья на предприятиях может стать необходимостью только на основе оценки величины производственного эффекта, полученного с их помощью.

Экономический эффект будет больше, если в расчет будут вовлечены вторичные ресурсы отходов производства и потребления как резерв полезных ископаемых. Это прежде всего полимерные отходы, макулатура, ветошь, металлы, ПЭТ-бутылки. Такие оценки должны осуществляться на основе единого методического подхода и при соответствующей координации.

Применение экономических оценок в планово-проектных разработках, а также в научных исследованиях и опытно-конструкторской деятельности будет содействовать их рациональному использованию с точки зрения промышленной целесообразности.

При определении экономической эффективности капитальных вложений сегодня не в полной мере учитываются изменения окружающей среды, которые могут возникнуть в результате создания производственных мощностей по переработке вторичных сырьевых ресурсов. На этапе проектирования и определения эффективности капитальных вложений отсутствуют экономические стимулы охраны окружающей среды. Более того, с позиций отдельных инвесторов выгодными являются такие варианты, которые не обеспечивают наиболее полной охраны окружающей среды, так как, при прочих равных условиях, для них требуется меньше капиталовложений. Такое противоречие между интересами общества и интересами отдельных коллективов неправильно и недопустимо, оно не может быть преодолено только с помощью административных методов управления. Необходимо, чтобы при определении экономической эффективности капиталовложений производственный результат корректировался (уменьшался или увеличивался) в зависимости от ущерба, сохранения или улучшения компонентов окружающей среды и в обязательном порядке с учетом особенностей переработки вторичных ресурсов. Чтобы при проектировании могли быть определены изменения окружающей среды, должна быть налажена широкая информация и существенно улучшена система контроля и учета нарушений компонентов окружающей среды со стороны производственной и других видов деятельности. Создание единой информационной системы по проблемам окружающей среды должно рассматриваться как первостепенная задача.

Для охраны окружающей среды важное значение имеет фактор времени. Откладывание сроков капитальных вложений в строительство различных очистных сооружений приводит к невозвратимым потерям и нарушениям окружающей среды. Отрицательное воздействие этих нарушений на общество широко освещается в печати. Необходимую синхронизацию в процессе строительства производственных мощностей и различных сооружений по охране окружающей среды следует проводить с помощью экономических и административных методов. В этом отношении целесообразным является введение дополнений в нормативные акты по капитальному строительству.

Назрела необходимость в научных исследованиях по ряду теоретических и методических вопросов (например, о связях между рациональным использованием природных и вторичных сырьевых ресурсов, охраной окружающей среды и общественной производительностью труда).

В качестве примера акцентируем внимание на технологии и оборудовании для переработки вторичных полимерных отходов как самой значимой компонентной составляющей твердых бытовых отходов. Вторичная переработка полимерных отходов, входящих в состав отходов потребления, является отраслью промышленности.

Для переработки полимерных материалов наибольшее распространение и признание получили одночервячные литьевые машины с осевым перемещением червяка, которые позволяют перерабатывать нетермостабильные материалы, (полиакрилаты, полиметилметакрилат, полиформальдегид, непластифицированный поливинилхлорид и др., в том числе вторичные термопласты).

Большой практический интерес представляют универсальные литьевые машины с встроенными в систему гидравлической и электронной автоматики, гидравлическими цилиндрами для управления оформляющими знаками при формировании фитингов сложной конфигурации.

Экструзионное оборудование развивается в направлении непрерывного совершенствования горизонтальных одночервячных и двухчервячных экструдеров, создания новых типов специальных экструдеров (вертикальных конических, адиабатических), а также поиска новых конструкций бесчервячных и комбинированных экструдеров (дисковых, гидродинамических, дисково-червячных).

Модернизированные одночервячные экструдеры отличаются применением гидравлического или электрического привода, обеспечивающего плавное регулирование скорости вращения червяка, индукционных электрических нагревателей с точным позиционным контролем и автоматическим регулированием температуры цилиндра и профилирующей головки.

При изготовлении профильно-погонажной продукции методом экструзии большой интерес представляют червячные щелевые головки, которые обеспечивают равномерное выдавливание расплавленного материала через щель при производстве листов и пленки из термопластов.

Двухчервячные экструдеры заслуживают предпочтительного применения для изготовления профилированных изделий непосредственно из порошка, при гранулировании, окрашивании и дегазации материала. Они позволяют

изготавливать пленку из непластифицированного поливинилхлорида. Раньше такую пленку изготавливали в основном на каландровых технологических линиях. Широкое внедрение двухчервячных экструдеров задерживалось в основном из-за сложности размещения упорных подшипников и приводных шестерен, а также отсутствия обоснованных рекомендаций по эффективному применению таких экструдеров. В настоящее время разработаны надежные и долговечные конструкции упорных узлов, обеспечивающие равномерное распределение осевого усилия на отдельные упорные подшипники.

Применение двух червяков с независимым приводом позволяет повысить производительность и уменьшить габаритные размеры экструдера, регулировать режим экструзии в зависимости от перерабатываемого материала и обеспечивать высокую степень гомогенизации расплава, особенно при переработке вторичных полимеров.

Для переработки в изделия отходов пленки, вакуумформованных, экструдированных и литьевых изделий, материала в виде крошки произвольной формы и различных размеров, а также для сухого окрашивания термопластичных материалов применяют комбинированные червячные экструдеры, оснащенные плавильным диском.

При производстве полых изделий наиболее перспективно применение экструзионно-выдувных установок. Для изготовления равнотолщинных изделий сложной конфигурации, а также изделий переменной толщины используют кольцевые профилирующие головки с подвижным фигурным дорном. Перемещение дорна изменяет кольцевой зазор в головке и регулирует толщину трубчатой заготовки в различных сечениях. Движением дорна управляет командный механизм, который настраивается на заданную программу.

Большой интерес представляет оборудование для производства армированных синтетическим или стеклянным волокном термопластичных пленок, листов и труб. До последнего времени из пенопластов изготавливали только плиты и блоки, которые измельчали и перерабатывали в изделия методами механической обработки. Сейчас пленки, листы, трубы и профильные изделия из вспененных термопластов изготавливают методом экструзии. Все большее применение находят штучные изделия из пенопластов, изготовленных методом литья под давлением, выдувного формования и термоформования.

Компрессионное прессование изделий, несмотря на широкое распространение, трудоемкое и имеет серьезные недостатки, которые особенно ощутимы при прессовании изделий с арматурой, деталей с различной толщиной стенок, а также при механической обработке отпрессованных изделий. Тем не менее компрессионное прессование предпочитают трансферному из-за простоты и доступности оборудования и прессформ. При трансферном прессовании предварительно пластифицированный материал впрыскивается в замкнутую прессформу, что облегчает прессование изделий разной толщины и с арматурой, на изделиях по плоскости разъема прессформы отсутствует грат, срок службы прессформ увеличивается, а длительность отверждения изделий сокращается с одновременным повышением качества отпрессованных изделий.

Для прессования крупногабаритных изделий из стеклопластиков под низким давлением выпускаются специализированные колонные или рамные прессы. Они отличаются небольшим усилием прессования и большими размерами плит. Стол прессы обычно удлинен, что облегчает извлечение крупногабаритных изделий из прессформы и способствует безопасности работы прессовщика.

Интенсификация процессов переработки отходов вторичных полимеров в готовую продукцию определяет необходимость новых исследований в этой области. Надо прежде всего отметить, что недостаточно полная информация о физико-химических явлениях, происходящих в полимерном материале в процессе переработки, сдерживает научно-технический прогресс в этой области. В связи с этим нужно проводить исследовательские работы, посвященные количественному анализу химических и физико-химических явлений, протекающих при переработке пластмасс традиционными способами, а также в процессе изготовления изделий непосредственно из полимерных отходов, в частности для нужд коммунального хозяйства города.

В настоящее время внедрение изделий из вторичных полимерных материалов в коммунальном хозяйстве города явно недостаточное, хотя потребность, например, в безнапорных полимерных трубах для эксплуатации канализационных систем, систем водоснабжения непрерывно возрастает. К сожалению, незнание механизмов явлений, протекающих при переработке полимеров в готовые изделия, заставляет проводить громоздкий эксперимент для установления взаимосвязи между характеристиками сырья, параметрами процесса и характеристиками качества изделий или полуфабрикатов.

По условиям эксплуатации изделий часто возникает необходимость обеспечения прочности. Иногда необходимо, чтобы в результате воздействия на материал определенных факторов происходило резкое изменение его прочности. Работы в области влияния структуры на эксплуатационные свойства полимеров показали, что в процессе их переработки даже чисто физическое или физико-химическое воздействие на полимерные материалы позволяет заметно изменять их свойства. Умение технологов обеспечить усиление материалов в заданных (конструкторами) направлениях является большим резервом экономии полимерного сырья, способствует расширению областей их применения и прогрессу многих отраслей науки и техники, в которых они используются.

Для того, чтобы создать полимерную композицию оптимального состава, нужно знать химическую природу компонентов, механизм процесса смешения и уметь управлять им.

Таким образом, одним из основных путей улучшения качества полимерных материалов является тщательное изучение технологии составления полимерных композиций. Эти технологии основываются на строгом учете роли каждого из компонентов системы, на знании законов смешения и взаимодействия этих компонентов.

Сложность механизма формирования изделий из вторичных пластмасс делает всестороннюю оценку влияния каждого фактора в отдельности на этот процесс практически невозможной. Поэтому получаемые количественные

зависимости довольно приблизительные и инженеру-технологу в его деятельности часто приходится руководствоваться простой интуицией.

Долгие годы промышленная переработка вторичных отходов, в том числе полимерных затруднялась тем, что не приносила ощутимой прибыли. Не учитывалось то, что переработка отходов по сравнению с их захоронением и сжиганием является наиболее эффективным способом решения проблемы вторичных отходов, так как требует меньше капитальных и финансовых затрат, позволяет экономить энергию и беречь окружающую среду.

В настоящее время в Украине ежегодно образуется около 6 млн. тонн отходов, среди которых почти 50 % составляют отходы упаковки. Это происходит в результате повышения культуры потребления товаров и их упаковывания и, как следствие, появления большого количества одноразовой упаковки. По этому показателю мы почти догоняем Запад. Но в отличие от Западной Европы, где перерабатывается от 35 до 70 % бытовых отходов, у нас до сих пор самым популярным способом остается захоронение отходов на специальных полигонах, проще говоря, свалках. В свое время в СССР была разработана специальная программа комплексного сбора, перевозки и утилизации отходов. В рамках этой программы планировалось построить несколько крупных предприятий по переработке бытовых отходов. Однако развал существовавшей во времена СССР системы сбора и утилизации отходов сделал переработку отходов невыгодной.

Что касается переработки пластмассовой упаковки, то она еще полностью не освоена. Отходы пластмасс поддаются утилизации в основном в четырех направлениях:

- использование при изготовлении аналогичной продукции (т.е. использование в качестве первичной пластмассы);
- использование при изготовлении продукции (т.е. использование в качестве вторичной пластмассы);
- переработка в химическое сырье;
- сжигание.

Самым перспективным является использование полимерных отходов как вторичного сырья. В этом случае практически полностью используются все свойства полимеров с точки зрения их назначения. Вторичный полимерный материал используют, как правило, в составе композиции с первичным полимером, в полимерных композициях как самостоятельное (вторичное) полимерное сырье, а также в качестве матрицы для композиции с минеральными или органическими наполнителями.

Преимущества предприятий с высоким уровнем концентрации производства изделий из пластмасс с технико-экономической точки зрения безусловны, но не следует забывать, что рациональное использование свободных трудовых ресурсов малых и средних городов потребует строительства предприятий по переработке пластмасс небольшой мощности и опытно-экспериментальных производств по переработке полимерных отходов и изготовления продукции.

Изучение концентрации и специализации производства изделий из пластмасс в разных экономических районах свидетельствует о том, что объединение выпуска

продукции в мощных специализированных цехах не всегда обеспечивает заметных преимуществ перед мелкими производствами.

Динамика роста мирового потребления и мощностей для производства полимеров с прогнозом до 2005 г. весьма значительная. На 16-м Всемирном конгрессе по полимерным пленкам в г. Цюрихе ведущие производители полимерного сырья представили свои отчеты и прогнозы о развитии производства полимерного сырья. Приведена информация о рынках таких полимеров, как полипропилен (ПП) и полиэтилен (ПЭ), прослежена динамика изменения их производства и потребления, даны прогнозы ведущих экспертов в этой отрасли. Табл. 3.27 и 3.28 иллюстрируют динамику мирового потребления и развития производства ПП и ПЭ, количество компаний и стран, занятых их производством.

Таблица 3.27 – Динамика мирового потребления и мощностей для производства ПП и ПЭ (тыс. т)

	1990 г.		2001 г.		2005 г.		Среднегодовой коэффициент прироста (%), 1990-2001гг.		Среднегодовой коэффициент прироста (%), 2001-2005гг.	
	ПЭ	ПП	ПЭ	ПП	ПЭ	ПП	ПЭ	ПП	ПЭ	ПП
Произв. мощн.	33865	13972	65304	38460	75205	42100	6,1	9,6	3,6	2,3
Потребление	30440	12500	50915	28143	60449	35620	4,8	7,7	4,4	6,1

Таблица 3.28 – Динамика количества компаний и стран, занятых производством ПП и ПЭ

	1990 г.		2001 г.		2005 г.	
	ПЭ	ПП	ПЭ	ПП	ПЭ	ПП
Компании	118	46	137	109	149	117
Страны	50	26	61	49	61	51

Как видим, среднегодовой прирост производства и потребления ПП за прошедшее десятилетие более чем в 1,6 раза превышает ПЭ. Прогноз специалистов на 2005 г. обещает смену позиций: среднегодовой прирост производства ПЭ будет приблизительно в полтора раза больше ПП.

Важным показателем является прогнозируемое значительное снижение темпов роста производства ПП и ПЭ на фоне незначительного снижения темпов роста их потребления.

Для анализа рынка проследим распределение производственных мощностей и потребление ПП и ПЭ по регионам мира (табл. 3.28 и 3.29). Здесь существенно заметно превышение производства над реальным потреблением ПП и ПЭ.

Теоретически каждый регион может обеспечить свои потребности в ПП и ПЭ. По прогнозам на 2005 г. высокоразвитые регионы (Западная Европа, Северная Америка, Япония) снизят темпы наращивания производственных мощностей по ПП и ПЭ при почти неизменном среднегодовом приросте потребления этих полимеров. По состоянию на 2001 г. при производстве странами этих регионов 57 % ПП и 58 % ПЭ это приведет к заметному снижению темпов роста производства ПП и ПЭ.

Если обратиться к опыту Германии, то там существует свод государственных законов, по которым регламентируются порядок образования отходов, их сбор, транспортировка, сортировка, переработка и использование. Эти законы обеспечивают при минимальной (также регламентируемой) дотации государства эффективность и прибыльность всех операций и действий с отходами до стадии их вторичного использования. Пока в Украине не будет такой законодательной базы, регламентирующей ответственность муниципальных органов за образование свалок, стимулирующей предпринимательскую деятельность по переработке отходов, положение дел с отходами у нас не улучшится.

На основе исследований состояния окружающей природной среды с учетом энергетических ресурсов, кислотно-дождевого потенциала и парникового эффекта от упаковочных пластиковых отходов объем их утилизации по европейским стандартам не должен быть выше 15 %. Остальное количество отходов подвергается сырьевому и энергетическому рециклингу.

Серийный выпуск комплектных линий по производству оборудования для переработки отходов в Украине не налажен. Только четыре предприятия предлагают оборудование для переработки отходов: УкрНИИпластмаш (г. Киев), ООО «Пластмодерн», Украинский ГПКТ институт вторичных ресурсов и инженерное предприятие «Экотехника» (г. Харьков).

Оборудование, выпускаемое этими предприятиями, рассчитано прежде всего на переработку полиэтиленовых отходов. И только Харьковское предприятие ООО «Харьковвторполимер», проведя модернизацию узлов и агрегатов технологической линии, в небольших объемах перерабатывает полистирол, полипропилен, ПЭТ-бутылки. Отходы других полимеров, таких как ПВХ, ПЭТФ перерабатываются на специализированном оборудовании ввиду их подверженности деструкции при механических и термических воздействиях.

Оборудование для переработки ПЭТ – бутылок предлагают зарубежные фирмы «Еврема» (Австрия), «Систем Редома» (Швеция). На уровне опытно-экспериментального производства налажена переработка ПЭТ-бутылок во Львове и Кременчуге.

Линии переработки бытовых отходов предлагают фирмы Германии и Италии. Ориентировочная цена немецкой линии мощностью от 2000 тыс.т/год составляет 400-700 тыс. долларов США.

Совершенствуются установки и оборудование для переработки вторичных пластмасс. Австрийская фирма «Еврема» запатентовала и разработала технологическую линию по переработке ПЭТ – бутылок. Линия состоит из агрегата дробления-уплотнения, сушильного оборудования и кристаллизаторов, работающих при повышенной температуре под вакуумом, экструдера с особой

Таблица 3.29 – Производственные мощности и потребление ПЭ по регионам мира

Регион	1990 г.				2001 г.				2005 г.				Среднегодовой прирост (%), в 1990-2001гг.		Среднегодовой прирост (%), в 2001-2005гг.	
	Произв.		Потр.		Произв.		Потр.		Произв.		Потр.					
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	Произв.	Потр.	Произв.	Потр.
Западная Европа	9150	27	8211	27	13786	21	11836	23	14861	20	13620	22,5	3,8	3,4	1,9	3,6
Северная Америка	11771	35	9793	32	20267	31	15272	30	20902	28	17529	29	5,1	4,1	0,8	3,5
Япония	3030	9	2196	7	3815	6	3094	6	3815	5	3585	6	2,1	3,2	0	3,7
Всего	23951	71	20200	66	37850	58	30202	59	39578	63	34734	57,5				
Восточная Европа	2847	8	2164	7	3073	5	2427	5	3718	5	2896	5	0,7	1,0	4,9	4,5
Африка / Средний Восток	1859	5	1427	5	6444	10	2891	6	9389	12	3411	5,5	12,0	6,6	10	4,2
Центр./Южная Америка	1504	4	1864	6	3250	6	3396	6,5	4521	6	3897	6,5	7,2	5,6	8,6	3,5
Азиатский регион (искл. Японию)	3704	12	4788	16	14669	21	12000	23,5	17999	24	15511	25,5	13,3	8,7	5,2	6,6
ВСЕГО	9914	29	10243	34	27436	42	20714	41	35627	47	25715	42,5				
Итого в мире	33865		30440		65304		50915		75205		60449					

Таблица 3.30 – Производственные мощности и потребление ПП по регионам мира

Регион	1990 г.				2001 г.				2005 г.				Среднегодовой прирост (%), в 1990-2001 гг.		Среднегодовой прирост (%), в 2001-2005 гг.	
	Произв.		Потр.		Произв.		Потр.		Произв.		Потр.					
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	Кг	%	Кг	%	Произв.	Потр.	Произв.	Потр.
Западная Европа	4317	31	3566	28,5	9153	24	8125	29	9673	23	10277	29	7,1	7,8	1,4	6
Северная Америка	4018	29	3305	26,5	9665	25	7386	26	10235	24	9233	26	8,3	7,6	1,4	5,7
Япония	1931	14	1933	15,5	3016	8	2702	9,5	3016	7	3240	9	4,1	3,1	0	4,6
Всего	10266	74	8804	70,5	21834	57	18213	64,5	22924	54	22750	64				
Восточная Европа	630	4	580	4,5	1480	4	791	3	1715	4	1090	3	7,9	2,9	3,7	8,3
Африка / Средний Восток	244	2	486	4	2238	5	940	3,5	3188	8	1380	4	22,1	6,2	9,2	10
Центр./Южная Америка	528	4	790	6	2177	6	1430	5	2487	6	1872	5	13,7	5,5	3,4	7
Азиатский регион (искл. Японию)	2304	16	1840	15	10752	28	6769	24	11792	28	8528	24	15,0	12,6	2,3	5,9
ВСЕГО	3706	26	3696	29,5	16647	43	9930	35,5	19182	46	12870	36				
Итого в мире	13972		12500		38461		28143		42106		35620					

геометрией шнеков. Технологический процесс позволяет сохранять характеристическую вязкость материала в пределах, допустимых для повторного формования бутылок. Немецкая фирма «Крупп» создала установку для переработки ПЭТФ без предварительной сушки до 0,01-0,05 %, что существенно удешевляет рециклатаы.

Рост производства бутылочных прессформ, повышение мировых цен на нефть и, соответственно, на первичный полиэтилентерефталат повлияли на активное формирование в Украине рынка по переработке использованных ПЭТ – бутылок.

Рынок вторичного ПЭТФ развивается и имеет большой потенциал. По данным Ассоциации европейских переработчиков ПЭТ – бутылок PETCORE с 1995 по 2000 гг. количество перерабатываемого сырья выросло с 80 до 340 тыс.т в год.

Существуют несколько способов переработки использованных бутылок. Одним из них является глубокая химическая переработка вторичного ПЭТФ с получением диметилтерефталата (ДМТ) в процессе метанолиза или терефталеевой кислоты и этиленгликоля в ряде гидролитических процессов. Однако такой способ переработки имеет существенный недостаток – дороговизна процесса деполимеризации. Поэтому в настоящее время чаще применяют известные и распространенные механохимические способы переработки, в процессе которых конечные изделия формируются из расплава полимера.

Бутылочный полупродукт полиэтилентерефталата может быть использован в таких технических целях:

- в процессе переработки в изделия вторичный ПЭТФ можно добавлять в первичный материал;
- компаундирование – вторичный ПЭТФ можно сплавлять с другими пластиками (например, с поликарбонатом) и наполнять волокнами для производства деталей технического назначения;
- получение красителей (суперконцентратов) для производства окрашенных пластиковых изделий.

Очищенные ПЭТФ – хлопья можно использовать для изготовления широкого ассортимента товаров:

- текстильные волокна;
- набивочные и штапельные волокна – «синтепон» (утеплитель для зимних курток, спальных мешков и т.д.);
- набивочный материал для мягких игрушек, подушек и т.д.;
- ковровые покрытия;
- кровельные материалы;
- покрытия для пола автомобилей;
- пленки и листы (окрашенные, металлизированные);
- поддоны для замороженных продуктов (для использования в микроволновых печах);
- упаковка (коррексы, коробки для яиц и фруктов, упаковка для игрушек, спортивных товаров и т.д.);
- мерные чашечки (например, для стирального порошка);
- одноразовые горшки для рассады и саженцев;

- упаковочный шпагат (ремни для крепления товара на паллетах для безопасной транспортировки);
- внутренние слои многослойных бутылок (для йогурта, сока и т.д.);
- бутылки для технических жидкостей (моторное масло, антифриз, тормозная жидкость и т.д.);
- литьевые изделия конструкционного назначения (в том числе из стеклонаполненного ПЭТФ) для автомобильной промышленности, детали осветительных и бытовых приборов и т.д.

При этом исходным сырьем для деполимеризации или переработки в изделия являются не бутылочные отходы, которые могли пролежать какое-то время на свалке и представляют собой бесформенный сильно загрязненный материал, а чистые хлопья ПЭТФ.

Концепция создания комплексной системы сбора и утилизации полимерных отходов рассматривает использование пластмассовых отходов как основной источник полимерного сырья. Это позволяет создать сырьевую базу, значительно более дешевую по сравнению с первичным полимерным сырьем, организовать выпуск широкого ассортимента недорогих материалов производственно-технического назначения.

Основной путь использования отходов пластмасс – это их утилизация, т.е. повторное применение. Практически доказано, что капитальные и эксплуатационные затраты по основным способам утилизации полимерных отходов не превышают, а в ряде случаев даже ниже затрат на их уничтожение. Положительной стороной утилизации является также то, что получается дополнительное количество полезных сырьевых продуктов для различных отраслей народного хозяйства, не происходит повторное загрязнение окружающей среды.

Без вмешательства государства повторная утилизация пластмасс осуществится только там, где совокупность расходов по их сбору, сортировке и переработке не превышает предельную полезность конечного продукта.

При экологическом вмешательстве государства (например, бережное обращение с ресурсами, свалками) занятие пластмассовыми отходами может стать для отдельных предприятий экономичным, если будут доплаты от поступлений за удаление отходов.

Опыт работы в этой отрасли в Украине показывает, что основной принцип при решении проблемы утилизации полимерных отходов сводится к рациональному, научно обоснованному использованию сохранившихся полезных свойств полимерного материала, к которым прежде всего относится его высокая стойкость к агрессивным средам. Это требует применения новых нестандартных технологических процессов, малочувствительных к разбросу физико-химических параметров вторичного полимерного сырья, накладывает ограничение на номенклатуру изделий из полимерных отходов. В частности, изделия из полимерных отходов должны иметь большой срок эксплуатации, по крайней мере не менее 10 лет, что ограничит попадание их на третичную переработку.

В институте «УкрНИИпластмаш» (г. Киев) разработаны новые виды экструзионных линий для переработки измельченных технологических и бытовых

отходов: пленок, выдувных, литевых и других изделий из термопластов, а также агрегаты для измельчения пластмасс, роторные измельчители пластмасс.

Для предприятий малого и среднего бизнеса предложена линия ЛГТВ 63-90 производительностью до 90 кг/ч для переработки в гранулы пленочных, рулонных и кусковых отходов, бракованных изделий из полиэтилена, полипропилена, полистирола, АБС и других отходов, в том числе образующихся при производстве пакетов типа «майка» из полиэтилена высокой плотности, отходов при производстве листов, рулонных материалов и последующей термо- и вакуумформовки, одноразовой тары, посуды из полипропилена, полистирола и др.

Линия ЛГТВ 90-200 производительностью до 200 кг/ч предназначена для переработки технологических отходов термопластов в условиях специализированных производств. В комплекте с устройствами мойки и предварительного измельчения она может применяться для переработки бывших в употреблении пленок и кусковых отходов. В зависимости от типа перерабатываемого материала в ней могут быть использованы методы стренговой или ленточной грануляции.

Линия ЛГТВ 90-250М производительностью до 250 кг/ч, освоенная производством АО "Большевик", с помощью метода резки гранул на фильерной плите перерабатывает технологические отходы производства изделий из термопластов, и ряда композиции.

Предложены измельчители пластмасс с диаметром роторов от 160 до 450 мм для измельчения кусковых и пленочных отходов переработки пластмасс, агрегат измельчения пластмасс АУРИТ – 300.

Создана линия мойки, агломерирования и гранулирования бытовых отходов пластмасс производительностью до 250 кг/ч, представляемая на рынок совместно с ИПП «Метальхем» (Польша). Линия включает устройство предварительного измельчения пленки, установку для мытья загрязненной полимерной пленки, агломератор пластмассовых пленок, экструзионно гранулирующую линию типа ЛГТВ 90-25М или ЛГТВ 90-200.

К отходам из пластмасс при утилизации ТБО должен быть дифференцированный подход, так как перерабатываемые полимерные материалы являются полноценным сырьем для изготовления изделий технического назначения и строительства.

Промышленная переработка отходов потребления, в том числе полимерных отходов, должна осуществляться в двух направлениях:

- очистка, разделение по видам и регранулирование;
 - переработка в композиционные материалы
- и ориентироваться на изготовление товарной продукции для нужд коммунального хозяйства и инфраструктуры городов Украины.

Вопросы для самопроверки

1. Краткая характеристика образования полимерных отходов по видам.
2. Определение основных направлений концепции промышленной переработки отходов.
3. Рациональная схема переработки ресурсно-ценных сырьевых компонентов, входящих в состав ТБО.
4. Влияние составляющих ТБО на их морфологический состав.
5. Основная цель эколого-экономических задач перехода от полигонного захоронения ТБО к промышленной переработке.
6. Порядок проведения инвентаризации и экологического обследования объектов размещения отходов (ОРО).
7. Основная цель мониторинга источников тары и упаковки как вторичного сырья.
8. Распределение изношенной тары и упаковки по видам и группам.
9. Схема расчета практического отбора ресурсно-ценных сырьевых компонентов, входящих в ТБО при механизированной сортировке от нежилого и жилого секторов мегаполиса.
10. Последовательность работ по определению реальной базы данных источников накопления изношенной тары и упаковки.
11. Схема образования, движения, накопления и поставки на утилизацию изношенной полимерной тары и упаковки.
12. Сравнительные признаки различных видов сырья из отходов полимерной пленки.
13. Обоснование понятия “Полимерные отходы как резерв природно-ресурсного потенциала региона”.
14. Структура образования полимерных отходов в источниках I, II и III типов.
15. Порядок построения и аналитический смысл блок-схем модели источников образования полимерных отходов I, II и III типов.
16. Необходимые условия для определения объемов в источниках образования отходов.
17. Определение понятий “отходы”, “отходы, возможные к сбору и использованию”, “вторичные ресурсы” и “вторичное сырье”.
18. Структурная схема образования ресурсов вторичных полимеров.
19. Порядок аналитических расчетов количества образующихся вторичных ресурсов полимерных отходов по уравнению

$$P = P^K + P^H = 0,0066 G_t + 0,416 \Phi_{t-т} .$$

20. Организационно-технические мероприятия по сбору и заготовке вторичного полимерного сырья.
21. Предпосылки селективного сбора полимерных отходов.
22. Минимизация количества отходов методом механизированной сортировки.
23. Эффективность системы управления ТБО с учетом требований экологии, экономики и энергосбережения.
24. Краткая характеристика и особенности классификации полимеров:
 - по свойствам;

- по происхождению;
 - по способу получения.
25. Краткая характеристика устойчивости полимерных материалов к агрессивным средам.
 26. Сущность понятий деструкции и старения полимеров как следствие физико-химических процессов.
 27. Физико-химические процессы изменения свойств полимеров при:
 - термической деструкции;
 - механодеструкции;
 - химической деструкции;
 - термо- и фотоокислительной деструкции;
 - термоокислительной деструкции;
 - фотодеструкции.
 28. Факторы влияния внешней среды на разрушение полимерных отходов в местах накопления и на полигонах ТБО.
 29. Критерии экономических и экологических аспектов переработки вторичных полимеров.
 30. Методика определения сравнительной экономической эффективности переработки отходов полимеров во вторичное сырье.
 31. Метод экструзии переработки термопластов.
 32. Схема экструзионной машины. Технологические особенности процесса экструзии.
 33. Общие понятия расчета технологических параметров процесса экструзии.
 34. Физический смысл теоретических расчетов основного узла экструдера: цилиндр – шнек.
 35. Теоретическое обоснование расчета и конструирования шнека.
 36. Порядок расчета геометрических параметров шнеков: диаметр, профиль.
 37. Расчетная схема определения прочностных характеристик шнека экструдера.
 38. Принцип измельчения полимерных отходов.
 39. Устройство и принцип работы роторного измельчителя.
 40. Принцип работы и устройство моечно-резательного агрегата.
 41. Способы водоотделения измельченных полимерных отходов.
 42. Устройство и принцип работы отжимного агрегата.
 43. Агломерация и гранулирование полимерных отходов.
 44. Устройство и принцип работы агломератора.
 45. Устройство и принцип работы линии гранулирования полимерных отходов.
 46. Технологическая линия переработки вторичного полимерного сырья (ВПС). Принципиальная схема технологии переработки. Последовательность технологических операций.
 47. Краткая техническая характеристика и назначение узлов и агрегатов технологической линии переработки ВПС.
 48. Характеристика основных требований технологического регламента линии по переработке ВПС.
 49. Тенденции развития технологий и оборудования для переработки вторичных сырьевых отходов.

Терминология

Автотрофные микроорганизмы – микроорганизмы, создающие все необходимые для построения своего тела органические вещества из неорганических веществ – воды, углекислоты и аммиака в результате фотосинтеза или хемосинтеза.

Агломерация – сваривание (“окускование”) полимерных отходов с целью увеличения насыпной плотности.

Адгезия (лат. adhaesio - прилипание) – сцепление поверхностей разнородных тел.

Анаэробные условия – бескислородная среда.

Аномалия геохимическая – измененное по сравнению с окружающей местностью содержание химических элементов в почве, грунтах и т.д. Возникновение ее характерно для городов.

Антимикробные агенты – добавки, препятствующие зарождению и размножению микроорганизмов в полимерах. Применяются в очень малых концентрациях – долях процента. Антимикробными агентами служат органические соединения олова, сурьмы, мышьяка, ртути, меркаптаны, бромиды, бактерицидные или фунгицидные препараты, антибиотики и др.

Антипирены – добавки, снижающие горючесть полимерного материала, затрудняющие его воспламенение и замедляющие процесс распространения пламени (в идеальном случае приводят к самозатуханию при вынесении материала из пламени). Эти добавки не должны ухудшать основные свойства материала – прочность, теплостойкость и др., должны обладать атмосферостойкостью, низкой токсичностью и не взаимодействовать с остальными ингредиентами в условиях переработки. Наиболее целесообразно введение антипиренов в полимерный материал при его изготовлении или перед переработкой. Антипиренами служат в основном галогеносодержащие соединения, производные фосфора, изоцианаты, соединения сурьмы или их смеси, «жидкое стекло».

Антистатика – добавки, препятствующие возникновению и накоплению статического электричества в изделиях, полуфабрикатах при их изготовлении, смешении, транспортировке. К ним относятся различные поверхностно-активные вещества – амины, четвертичные аммоновые основания, порошки металлов (серебра), сажа и др. Они вводятся в состав материала или наносятся на поверхность изделия, полуфабриката. Действие антистатиков основано на повышении электрической проводимости полимерных материалов, обуславливающей утечку зарядов.

Антропогенные факторы – совокупность воздействия деятельности человека (в основном производственной) на органический мир, что приводит к изменению рельефа, химического состава среды, климата региона (планеты), перераспределению пресной воды. В результате происходит исчезновение биогеоценозов, появление искусственных агробиогеоценозов, уничтожение вредных для человека видов растений и животных.

Армированные пластинки – пластмассы, содержащие в качестве упрочняющего компонента листовые или волокнистые материалы, у которых $l/d > 100$ (l - длина, d - диаметр наполнителя). Армирование повышает механическую прочность, теплостойкость, снижает ползучесть материала.

Аэротенк (от аэро... и англ. tank – резервуар, емкость, бак) – проточный железобетонный резервуар для биологической очистки сточных вод активным илом (аэрофильными бактериями-минерализаторами, низшими грибами и простейшими) посредством принудительного продувания воздуха.

Бариты (греч. barys – тяжелый) – минералы, широко применяющиеся в промышленности при изготовлении белил, химических препаратов, а также как наполнитель в бумажной и резиновой промышленности.

Брожение – анаэробный ферментативный окислительно-восстановительный процесс распада органических субстратов с генерацией энергии.

Гетеротрофные микроорганизмы – микроорганизмы, не способные самостоятельно синтезировать необходимые для построения своего тела органические вещества из неорганических и питающиеся готовыми органическими веществами, образованными автотрофами.

Гетеротрофная микробиологическая деструкция – распад органических и неорганических веществ, осуществляемый гетеротрофными микроорганизмами в процессе обмена веществ.

Гидрофобность – неспособность материала смачиваться водой.

Гидрофильность – способность материала смачиваться водой.

Гниение - распад (деструкция) белков в анаэробных условиях, осуществляемый микроорганизмами.

Гомогенизация (греч. homogens) – однородный.

Декомпрессия – 1) уменьшение сжатия; 2) быстрый переход из среды с более высоким давлением в среду с более низким давлением; 3) болезненное состояние, возникающее при таком переходе.

Денитрификация – микробиологический процесс восстановления окисленных соединений азота (нитритов, нитратов) до газообразных азотсодержащих продуктов.

Деструкция (лат. destructio) – разрушение, нарушение нормальной структуры чего-либо.

Диспергирование (лат. dispergere) – измельчение.

Добавки (бытовое) - вспомогательные вещества, дополнительные ингредиенты для полимеров, без которых невозможна переработка их в изделия и эксплуатация этих изделий.

Ингибиторы (лат. inhibere - сдерживать, останавливать) – 1) вещества, замедляющие химические реакции или прекращающие их; применяются для замедления или предотвращения некоторых процессов, например коррозии металлов, окисления топлив; 2) природное или синтетическое вещество, угнетающее активность ферментов (или полностью прекращающее их

деятельность) и в результате нарушающее нормальный обмен веществ в организме; в более широком смысле – агенты, тормозящие какой либо сложный биологический процесс.

Изотермический процесс – физический процесс, происходящий при постоянной температуре.

Ингредиенты (compounding ingredients) – добавки, которые вводят в полимеры для придания им требуемых эксплуатационных, технологических свойств и облегчения переработки. Ингредиенты пластических масс вводят практически во все полимеры. Количество ингредиентов может изменяться в широких пределах – от долей до десятков процентов на полимер. Требования к ингредиентам: способность диспергироваться в полимере с образованием однородной композиции, стабильность свойств при хранении, переработке и эксплуатации, безвредность для человека. Классифицируют ингредиенты чаще всего по назначению: наполнители, пластификаторы, стабилизаторы и т.д.

Инфраструктура города (лат. infra под + структура) – составные части общего устройства экономической или политической жизни, имеющие подчиненный, вспомогательный характер и обеспечивающие нормальную деятельность экономической или политической системы в целом; например, в экономическую инфраструктуру входят транспорт, связь, образование и профессиональное обучение, жилье и коммунальное хозяйство, от состояния которых зависит общественное производство.

Компоненты (componens – составляющий) – составная часть, элементы полимерного материала.

Композиция (composito – составление, согласие) – смесь компонентов, дающая определенный синергический эффект.

Композиционные полимерные материалы – гетерофазные полимерные системы, полученные из двух или более компонентов, где один компонент является матрицей, в которой определенным образом распределены (диспергированы) другие компоненты, отделенные от матрицы границей раздела фаз.

Конструкционные, или высокопрочные пластмассы – пластмассы прочностью выше 50 Мпа, обычно 70-200 Мпа, применяемые для изготовления силовых элементов конструкций. К ним принадлежат армированные пластики прочностью до 200 Мпа.

Концепция (лат. conceptio) – система взглядов, то или иное понятие явлений, процессов; единый, определяющий замысел, ведущая мысль какого-либо произведения, научного труда и т.д.

Красители – применяются для получения окрашенных полимерных материалов. Красители делятся на органические и неорганические – пигменты. К красителям предъявляют ряд специфических требований.

Метаболизм (греч. метаболе – перемена, превращение) – процесс, охватывающий усвоение питательных веществ и построение из тела организма, обмен веществ.

Микроаэрофильные условия – среда с низким содержанием кислорода.

Микробиологическая сульфатредукция – микробиологический процесс восстановления сульфатов до сероводорода, происходящий в анаэробных условиях.

Мицелий (греч. микес - гриб) – вегетативное тело гриба, состоящее из одно- или многоклеточных нитей – гифов.

Мониторинг окружающей среды – система наблюдений и контроля, проводимых регулярно, по определенной программе для оценки состояния окружающей среды, анализа происходящих в ней процессов и своевременного выявления тенденций ее изменения.

Наполнители – твердые, жидкие и газообразные компоненты, относительно равномерно распределенные в объеме композиции, имеющие четко выраженную границу раздела с непрерывной полимерной фазой – матрицей. Наполнители влияют на самые разнообразные свойства полимеров: прочность, твердость, теплопроводность, теплостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, диэлектрические, фрикционные свойства и др. Иногда роль наполнителя заключается в снижении стоимости полимерного материала и в облегчении его переработки. По происхождению наполнители делятся на органические и неорганические (минеральные); по структуре – на твердые: порошкообразные (изотропные), волокнистые, листовые (анизотропные); жидкие; газообразные. Тип и природа наполнителя находят отражение в классификации полимерных материалов: асбобластики, графитопласти, древесные пластики, газонаполненные пластики и т.д. Механизм взаимодействия полимера с наполнителем определяется их химической природой и характером поверхности наполнителя. Большое значение имеет адгезия «полимер - наполнитель». Наполнители, имеющие высокую адгезионную связь с полимером, называются активными, не взаимодействующие с ним – инертными. Содержание наполнителя, как правило, не превышает 50 %, но иногда достигает 90 %. Для получения наполненных полимерных материалов применяют различные способы, зависящие от типа полимера и структуры наполнителя: смешение на вальцах или в смесителях, пропитка растворами или дисперсиями полимеров и др.

Объект мониторинга – природный, техногенный или природно-техногенный объект (или его часть), в пределах которого по определенной программе осуществляются регулярные наблюдения за окружающей средой с целью контроля ее состояния, анализа происходящих в ней процессов, выполняемых для своевременного выявления и прогнозирования их изменений и оценки.

Оксидоредуктазы - ферменты, катализирующие биохимические окислительно-восстановительные реакции.

Осцилляция, осциллирующее движение (лат. oscillum) – колебание, возвратно-поступательное движение.

Пластические массы – пластмассы, пластики, материалы, основу которых составляют полимеры. В зависимости от характера процессов, сопутствующих формованию изделий, пластмассы делятся на термопласты и реактопласты.

Обычно в состав пластических масс входят, кроме полимера, несколько ингредиентов.

Пластмассы общего назначения – полимерные материалы с прочностью до 50 Мпа, применяемые для изготовления неответственных изделий с рабочими температурами до 60 – 70 °С.

Плесневые грибы – грибы, образующие преимущественно нитевидный мицелий – длинные разветвленные нити (гифы), которые формируют видимые невооруженным глазом массы.

Полимеры – высокомолекулярные соединения, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся одинаковых группировок (мономерных звеньев): полиэтилен, поливинилхлорид и др. Высокомолекулярные соединения, макромолекулы которых содержат несколько типов мономерных звеньев, называются сополимерами. Часто полимерами называют все высокомолекулярные соединения, особенно имеющие линейное строение.

Полимеры специального назначения – пластмассы, функциональное назначение которых определяется специфическими требованиями, например, биосовместимостью, высокой кислотостойкостью, электропроводностью и т.д.

Порообразователи – вещества, которые вводят для получения полимерных материалов пористой структуры. Такая структура создается в результате протекания физических процессов, приводящих к возникновению в массе полимера парогазовой фазы или химических реакций, сопровождающихся выделением газообразных продуктов. В первом случае порообразователями служат химически инертные низкомолекулярные углеводороды, обладающие в газообразном состоянии низким коэффициентом диффузии (например, пентан, изопентан, бутан, гексан и др.), во втором – соединения, которые либо разлагаются при определенной температуре с выделением газообразных продуктов, либо выделяют эти продукты в результате взаимодействия с полимером или с другими ингредиентами.

Резистентность – устойчивость организма, невосприимчивость к определенным факторам или агентам.

Тионовые бактерии (тиобациллы) – бактерии рода *Thiobacillus*, использующие в качестве источника энергии реакцию окисления восстановленных соединений серы или молекулярной серы.

Фермент (лат. ферментум – закваска) – биологический катализатор, по химической природе белок. Ускоряя биохимические реакции, направляет и регулирует обмен веществ.

Фосфолипиды – органические вещества компоненты живых систем, принадлежащие к классу липидов, эфиры многоатомных спиртов и органических кислот и фосфорной кислоты.

Фунгицид (фунгицидность) (лат. фунгус – гриб + цedere - убивать) – химическое вещество, убивающее грибную микрофлору. Фунгициды широко применяют для борьбы с грибами-возбудителями болезней (растений, животных,

человека), и грибами, разрушающими конструктивы и художественные ценности.

Хемолитотрофные процессы (хемосинтез) – процессы, осуществляемые автотрофными бактериями, способными синтезировать органические вещества из простых неорганических при использовании в качестве источника энергии реакции окисления неорганических соединений.

Хемоорганотрофные процессы – процессы, осуществляемые гетеротрофными микроорганизмами.

Эстеразы или гидролазы – ферменты, действующие на сложноэфирные связи.

Информация о контейнерах ТБО, изготавливаемых на территории Украины (например, ООО «ВЛИВ», ул. Гвардейская, 20, г. Кременчуг), а также об их ориентировочной стоимости в гривнах, с учетом 20% НДС.

Название изделий	Ориентировочная стоимость
Контейнер пластиковый MGB – 60 – 60 л. (на 2-х колесах)	155
Контейнер пластиковый MGB – 80 – 80 л. (на 2-х колесах)	165
Контейнер пластиковый MGB – 120 – 120 л. (на 2-х колесах)	175
Контейнер пластиковый MGB – 120S – 120 л. (на 2-х колесах)	235
Контейнер пластиковый MGB – 140 – 140 л. (на 2-х колесах)	190
Контейнер пластиковый MGB – 180 – 180 л. (на 2-х колесах)	210
Контейнер пластиковый MGB – 240 – 240 л. (на 2-х колесах)	220
Контейнер пластиковый MGB – 340 – 340 л. (на 2-х колесах)	450
Контейнер пластиковый MGB – 370 – 370 л. (на 2-х колесах)	490
Контейнер пластиковый MGB – 500 – 500 л. (на 4-х колесах)	980
Контейнер пластиковый MGB – 660 – 660 л. (на 4-х колесах)	1000
Контейнер пластиковый MGB–770–770 л. (на 4-х колесах с плоской крышкой)	1100
Контейнер пластиковый MGB–1100–1100 л. (на 4-х колесах с плоской крышкой)	1350
Контейнер пластиковый MGB–1100–1100 л. (на 4-х колесах полукруглая крышка)	1550
Контейнер металлический оцинкованный MGB–1100–1100 л. (на 4-х колесах полукруглая крышка)	1500
Контейнер металлический оцинкованный MGB–1100–1100 л. (на 4-х колесах) с отверстиями для сбора бумаги	1600
Контейнер металлический оцинкованный MGB–1100–1100 л. (на 4-х колесах) для сбора стекла	1600
Контейнер металлический оцинкованный MGB–1100–1100 л. (на 4-х колесах) для сбора легких упаковок	1600
Урна пластиковая Дино – 50 л. (тротуарный контейнер)	150

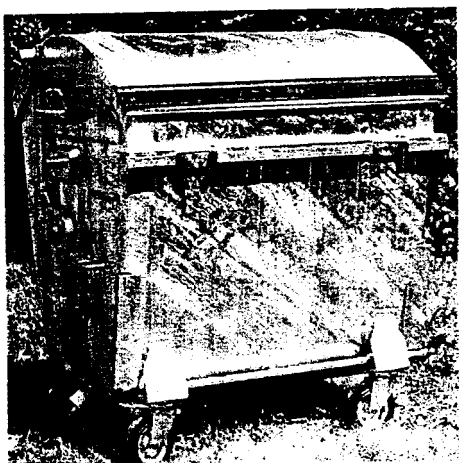
Техническое описание конструкции контейнера емкостью 1,1 м³ для сбора ресурсно-ценных материалов и бытового мусора.

Контейнеры изготавливают из высококачественной листовой прокатки холодной стали (ст. 3), толщиной 1,5 мм с учетом требований ТУ У 30661592..002.2002 и европейского стандарта EN 840-3.

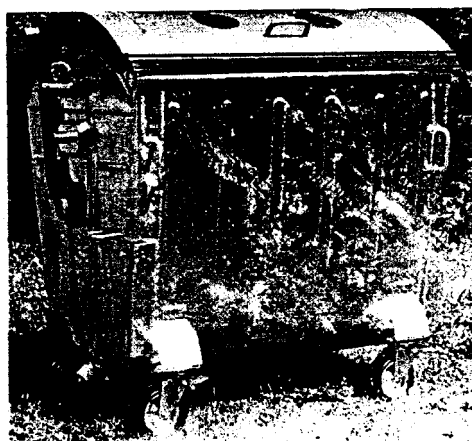
Фирма ООО «ВЛИВ» гарантирует надежную эксплуатацию контейнера в течение 5 лет. Контейнер представляет собой стальную емкость и состоит из следующих основных узлов: корпус; крышка; узлы поворота крышки; колеса вращающиеся с тормозами.

Все узлы контейнера имеют защитное цинковое покрытие, выполненное методом горячего оцинкования. Контейнер установлен на 4-х колесах, все колеса поворотные и не имеют выступов.

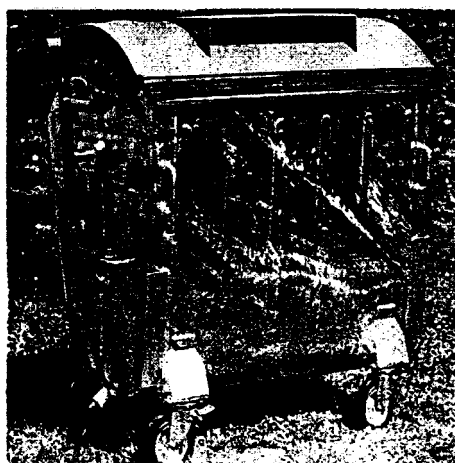
За дополнительную плату возможна комплектация центральным замком, который блокирует открытие крышки, тормозами и специальными гайками колес, а также покраска крышки в цвета, соответствующие назначению контейнера для конкретного вида отходов.



Для остаточных отходов



Для стеклянных упаковочных материалов



Для бумаги и картона



Для легких упаковочных материалов

1. Корпус представляет собой герметически сварную конструкцию, изготовленную из штампованного листового материала толщиной 1,5 мм. На торцевых участках корпуса установлены узлы поворота крышки, кронштейны захвата и поворота для выгрузки отходов. На боковых поверхностях контейнера находятся ручки для перемещения контейнера. На нижней поверхности установлены кронштейны крепления поворотных колес, а также сливной патрубок для удаления фильтра и дезинфицирующих растворов после санобработки.
2. Крышка изготовлена из штампованного листового материала толщиной 1,5 мм, соединенного сварными швами. Крышка имеет несколько модификаций: для легкой упаковки, стекла, бумажных и пищевых отходов. Крышка оборудована специальными резиновыми профилями для герметизации и защиты рук при закрытии.
На торцевых элементах приварены кронштейны крепления и поворота крышки. Крышка имеет два положения фиксации при открывании:
 - частичное – для загрузки;
 - полное – для разгрузки.
3. Узел поворота крышки выполнен закрытым на полиамидных подшипниках, не требующих смазки. В узлах поворота установлены регулирующие листовые спиральные пружины, к которым нет внешнего доступа, для принудительного закрытия крышки после снятия с фиксатора. Узел поворота полностью защищен от атмосферных осадков.
4. Поворотные колеса сделаны из штампованных деталей с резиновым ободом. Все стальные детали – хромированные. Подшипники – из полиамида. Два колеса оборудованы механическими тормозами с предупреждением спонтанного перемещения контейнера. Крепление колес к контейнеру осуществляется обычным болтовым или специальным соединением.

Техническое описание конструкции контейнера емкостью 12 м³ для сбора крупногабаритных ТБО (ТУУ 30661592.003-2002)

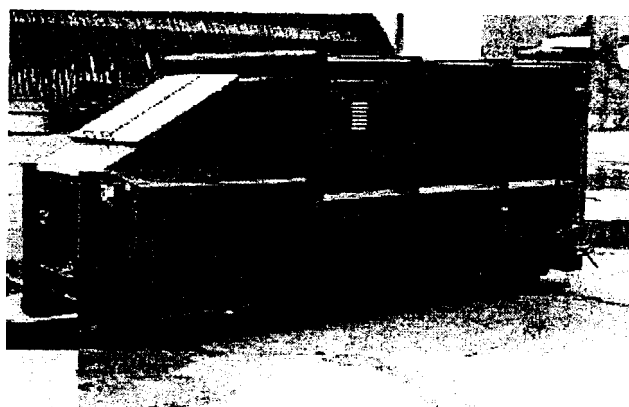
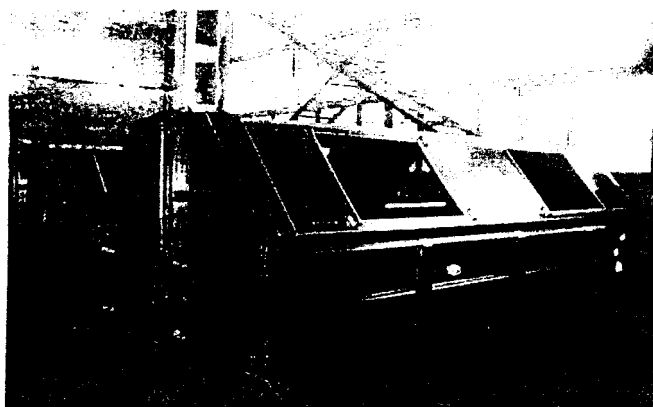
1. Контейнеры для сбора, временного хранения и транспортировки разнообразных грузов используют в коммунальном хозяйстве, строительстве и в других сферах деятельности человека.
Контейнеры для мусора фирмы «ВЛИВ» имеют следующие преимущества:
 - большую емкость при малом собственном весе;
 - высокую стойкость;
 - удобные в эксплуатации с гарантийным сроком более 12 лет.Большие контейнеры могут с успехом применяться в различных производствах.
2. Качество продукции обеспечивается применением высокотехнологического оборудования, использованием высококачественного проката, лакокрасочных материалов и двухступенчатым методом контроля качества.
3. Технологический процесс включает в себя:
 - 3.1. Заготовительное отделение:
 - обработку листового проката выполняют на гильотинных ножницах методом плазменной резки;
 - профильный прокат обрабатывают на фрезерных верстаках.
 - 3.2. Механическое отделение: обработка деталей осуществляется на универсальных токарном, фрезерном и сверлильном оборудовании.
 - 3.3. Сборочное отделение: корпусные детали и узлы собирают и сваривают в специальных кондукторах; сварка производится полуавтоматическими аппаратами «Варно Стар – 304» фирмы «Фрониус-факел» обмедненными сварочными стержнями в среде углекислого газа.
 - 3.4. Малярное отделение включает подготовительный и малярные посты:
 - на подготовительном посту производится подготовка поверхностей для покраски (пескоструйная обработка, обезжиривание и др.);
 - на малярном посту осуществляется грунтовка, шпаклевка и сушка лакокрасочного покрытия.
4. Безопасность эксплуатации.
Контейнеры имеют жесткую каркасную электросваренную конструкцию, которая обеспечивает неизменность форм и размеров в процессе долговечной эксплуатации. Покрытие внешних поверхностей выполняется атмосферостойкими экологически безопасными красками. Подвижные узлы и детали оснащаются эластичными элементами, которые препятствуют возникновению шума в процессе эксплуатации. Загрузочные люки имеют фиксаторы в открытом положении при загрузке отходов и закрытом положении при транспортировке самих контейнеров.
5. Фирма «ВЛИВ», изготавливающая крупногабаритные контейнеры, имеет производственные связи с зарубежными фирмами группы «Целлер» и специализируется на производстве контейнеров, мусоровозов и линий сортировки и переработки отходов.

Днища контейнеров изготавливают из листовой стали толщиной не менее 3 мм, боковые стенки – 2 мм. Срок эксплуатации – 12 лет.

Габаритные размеры контейнера: длина – 3720 мм; ширина – 2500 мм; высота – 1880 мм; вес – 1,1 т.

Впереди у контейнера находится петля для погрузки на специальный автомобиль типа «Хуклифт». В задней части контейнера снизу есть два колесика для облегчения загрузки и разгрузки.

Крепление крышек гарантирует их удержание в открытом положении для загрузки отходов, а также устраняет шумовые эффекты при транспортировке. Контейнеры красят в любой цвет по желанию заказчика.

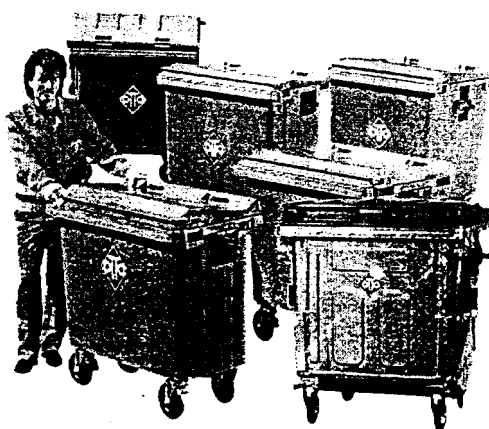


Техническое описание пластиковых контейнеров

Пластиковые контейнеры предназначены для сбора ТБО и различаются по цвету в зависимости от назначения: для сбора твердых бытовых отходов, для стекла, макулатуры и картона, упаковок, пищевых отходов, пригодных для компостирования. Фирма «ВЛИВ» поставляет контейнеры следующих типоразмеров.

Емкость, л	80	180	140	240	360
Высота, мм	945	945	1075	1100	1100
Ширина, мм	480	505	505	580	665

Пластмассовые контейнеры изготавливают из полиэтиленовых полимеров низкого давления, защищенных от ультрафиолетового излучения.



Информация об оборудовании мусоровозов с задней загрузкой, поставляемых фирмой «ВЛИВ» (г. Кременчуг, ул. Гвардейская, 20), а также об их ориентировочной стоимости в гривнах, с учетом 20 % НДС.

Наименования спецоборудования	Емкость бункера, м³	Цена без стоимости шасси, грн., в т.ч. 20 % НДС
Микро (с лифтом SK 200)	5-8	от 140000
Мини (с лифтом SK 200)	6,5-8	от 245000
Супермини (с лифтом SK 200)	8-12	от 255000
Медиум Лайт (с лифтом SK 200)	14-17	от 265000
Медиум (с лифтом SK 200)	14-17	от 275000
Супермедиум (с лифтом SK 200)	18-22	от 290000
Титан (с лифтом SK 200)	22-24	от 300000

В комплект оборудования для мусоровозов серийно входят:

- задняя часть мусоровоза с гидравлическим приводом, автоматическим замыканием и прессованием;
- бункер мусоровоза является надежной профильной конструкцией с передней плитой прессования;
- лифтер (подъемник) SK 200 для контейнеров 60 – 1100 л;
- крепление бункера мусоровоза – к автошасси;
- пульт управления для ручной и автоматической эксплуатации, а также в экстренных ситуациях;
- специальная изоляция между бункером мусоровоза и задней частью;
- дополнительный комплект оборудования (гидравлическое оборудование, резиновые козырьки, крылья задних колес с брызговиками, две подножки, система освещения, смазка (12 точек) и др.;
- трехразовая грунтовка и покраска.

Техническое описание мусоровозов с задней загрузкой ТБО

Мусоровозы серии «ВЛИВ» ТУ У 34.1 – 30661592,001-2002 с задней загрузкой предназначены для сбора ТБО, накапливаемых для временного хранения в контейнерах, и их доставки к местам переработки или складирования (мусороперегрузочные станции, мусоросортировочные комплексы, полигоны ТБО, площадки компостирования).

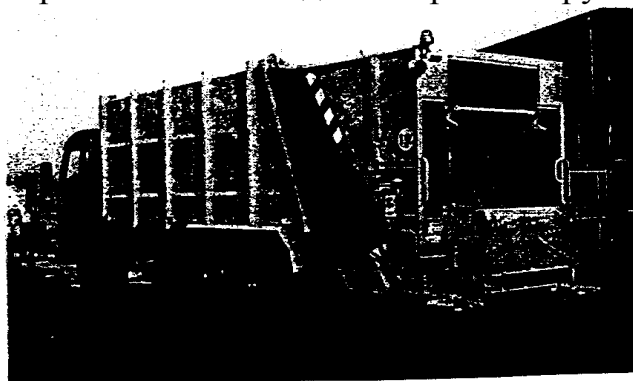
Мусоровозы, независимо от емкости их кузовов, представляют собой автомобильное шасси, на котором смонтировано специальное оборудование: бункер кузова, плита уплотнитель, приемная задняя часть кузова, лифт (подъемник контейнера), трансмиссия с масляным насосом, гидросистема, электрооборудование и др.

Бункер кузова представляет собой прямоугольную емкость, изготовленную из высококачественной стали с внешним укреплением с помощью приваренного каркаса из прямоугольных труб.

Вертикальные стенки бункера имеют специальные гофры для усиления жесткости. На внутренней поверхности боковых стенок бункера-кузова установлены направляющие для движения плиты-уплотнителя ТБО. Плита-уплотнитель смонтирована в середине бункера с минимальными зазорами между кромкой плиты и внутренними поверхностями боковых стенок. Зазоры уплотнены резиновыми прокладками.

Плита уплотнения перемещается с помощью гидроцилиндров и выполняет две функции:

- а) удаление отходов из бункера;
- б) упорной плиты при прессовании отходов во время загрузки мусоровоза.



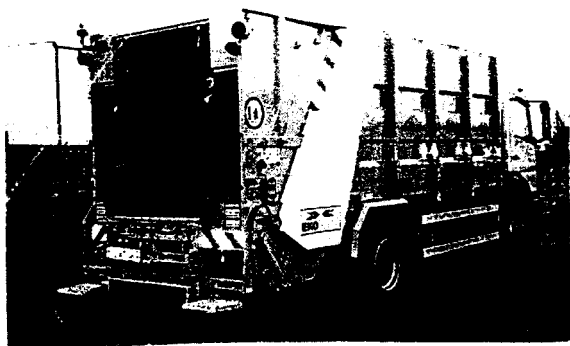
Устройство для подъема контейнеров расположено в задней части бункера. Оно шарнирно закреплено в верхней части бункера. С помощью гидроцилиндров устройство поднимается при удалении отходов из бункера. В нижней части расположен бункер для приема ТБО из контейнеров. В подъемной части смонтирован специальный подвижный ковш, который выгребает ТБО из приемного бункера и подвигает к подвижной плите. Перемещение ковша осуществляется с помощью гидроцилиндров. Фиксация подъемной части в поднятом и опущенном положениях производится автоматическими замками. Прессование осуществляется за счет давления ковша на ТБО при одновременном встречном давлении подвижной плиты. В связи с тем, что давление со стороны ковша превышает давление подвижной плиты, последняя одновременно с порцией спрессованного ТБО перемещается в переднюю часть бункера.

Лифт для подъема и загрузки контейнеров смонтирован на задней подъемной части. Лифты имеют две разновидности захватов для контейнеров:

- а) гребенчатый - для захвата контейнеров от 35 до 1300 л за специальный кронштейн, расположенный на передней стенке контейнер;
- б) откидные кронштейны – для захвата контейнеров за цифры, размещенные на торцевых стенках.

Все соединительные размеры лифтов соответствуют Европейскому стандарту EN 840-3. Подъемная часть имеет двойное резиновое уплотнение с бункером для избежания вытекания фильтрата. На задней части мусоровоза установлены две откидные подножки и поручни для обслуживающего персонала. В передней части за кабиною размещен привод гидравлической системы бункера.

Мусоровоз оборудован двумя пультами управления системой загрузка-разгрузка: первый пульт - центральный, размещен в кабине водителя, второй - рядом с кузовом. Обе системы управления могут работать автономно.



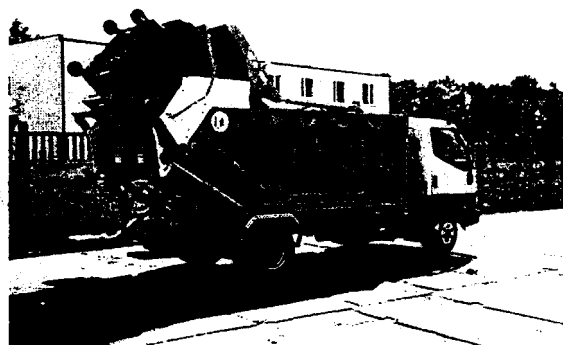
ВЛИВ – 1519 KZ53215 «МЕДИУМ»



ВЛИВ – 2024 MZ 63035 «СУПЕР МЕДИУМ»



ВЛИВ 1216 MZ53373 «МИНИ»



ВЛИВ – 0607 ZiL 5301 OE «МИКРО»

Условные обозначения мусоровозов марки «ВЛИВ» ТУ У 34.1-306611592.001-2002

«ВЛИВ» - фирма изготовитель мусоровозов;
 00 – обозначение объема бункера (м³);
 00 – обозначение полной массы мусоровоза (Т);
 ХХ – обозначение фирмы-изготовителя шасси;
 МВ – Мерседес Бенц;
 К – КАМАЗ.

**ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ
ПРЕДПОСЫЛКИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО
СООРУЖЕНИЯ И ОБУСТРОЙСТВА ПОЛИГОНОВ ТБО**

О.Д. Лющуков, главный эколог ХГИГО УкрНИИНТИЗ Госстроя Украины

В настоящее время особенно актуальным является экологически безопасное формирование областной инфраструктуры санитарной очистки в соответствии с инженерно-экологическим и прежде всего инженерно-геологическим потенциалом региона. Исходя из основных нормативных требований - наличия значительной мощности слабофильтрующих грунтов, глубины залегания грунтовых вод (глубже 2м), соответствующего рельефа и др., руководствуясь альтернативным подходом в их сопоставлении, осуществляется выбор территорий для размещения полигонов ТБО (ПТБО). Ниже остановимся на характеристике территории для этой цели.

Важным фактором, определяющим основные черты территорий для площадок ПТБО, являются их геолого-геоморфологические особенности. В общем плане потенциальная возможность обустройства экологически безопасных ПТБО снижается от плато и неоген-плиоценовых террас к боровой террасе и пойме. В этом же направлении могут изменяться типы самих ПТБО. Если на плато, высоких террасах (с абсолютными высотами рельефа в границах 190-236 м) преимущественно могут сооружаться ПТБО териконного типа, с любым углублением в грунты, то на более низких (древнечетвертичных) террасах, наиболее расчлененных оврагами и балками, они могут обустраиваться в основном в этих углублениях, а на плато сооружаться в виде траншей с применением противофильтрационных экранов по дну, а иногда и в бортах. На речных террасах (с абсолютными высотами рельефа в границах 75-100 м) целесообразно избегать сооружения таких объектов или при строительстве использовать мощные противофильтрационные экраны. На границах боровой террасы и поймы ПТБО сооружать нецелесообразно, а то и опасно.

Так, наиболее благоприятными территориями для развития инфраструктуры санитарной очистки в северной части Харьковской области являются отроги Среднерусской возвышенности, в южной - отроги Донецкого кряжа, а в центральной - Днепроовско-Донецкий водораздел вдоль древнего "Муравского пути". В центральной и южной части Харьковской области благоприятными являются межкупольные депрессии. Это обусловлено залеганием близ дневной поверхности красно-бурых, пестрых и древнечетвертичных коричневых глин, а в южной части и более древних пород (вплоть до карбоновых и пермско-триасовых), коэффициент фильтрации которых меньше 0.001 м/сут, т.е. здесь они близки к региональным "водоупорам". На таких грунтах формируются маломощные горизонты грунтовых вод на глубинах более 2 м от дневной

поверхности. Шахтными колодцами эти грунтовые воды эксплуатируются редко из-за слабой водоотдачи водовмещающих пород (дебит колодцев не превышает $0.5\text{ м}^3/\text{сут.}$). Вода в них часто высокоминерализована и загрязнена органическими веществами. Такие глины надежно защищают более глубокие горизонты подземных вод, эксплуатируемых артезианскими буровыми скважинами, а иногда и шахтными колодцами.

Грунтовые массы, которые накапливаются при рытье котлованов и канав, имеют очень низкие коэффициенты фильтрации и могут широко использоваться для устройства противифльтрационных экранов на более низких геоморфологических уровнях, а также для обвалования рабочих зон полигонов ТБО.

На границах древнечетвертичных террас, сложенных лессовыми породами с переслаиванием горизонтами ископаемых почв, фильтрационные условия для обустройства ПТБО менее благоприятные, чем на высоких гипсометрических уровнях. Эти грунты характеризуются коэффициентами фильтрации в пределах $1-0.001\text{ м}/\text{сут.}$, а при нарушении их структуры и уплотнении фильтрационные свойства могут снижаться на несколько порядков и после этого представляют прекрасный материал для устройства противифльтрационных экранов и дамб. Достаточно развитая здесь овражно-балочная сеть часто прорезает верхние водоносные горизонты, а на склонах они выходят в виде источников и создают постоянные водотоки в тальвегах. Поэтому все полигоны ТБО, которые могут сооружаться на таких формах рельефа, требуют устройства мощных экранов вдоль тальвегов.

Наименее благоприятными территориями для устройства ПТБО являются вторая надпойменная и бортовая террасы из-за высокой водопроницаемости песчаных грунтов, которыми они в основном сложены. Коэффициенты фильтрации здесь колеблются в границах $1-10\text{ м}/\text{сут.}$, а водные потоки направлены в сторону рек. На этих геоморфологических уровнях водоснабжение населенных пунктов осуществляется в основном за счет грунтовых вод аллювиальных горизонтов. Дебит шахтных колодцев $1-5\text{ м}^3/\text{сут.}$ Эти грунтовые воды имеют наименьшую защищенность от проникновения в них загрязняющих веществ. Многие водосборы из этого водоносного горизонта уже сейчас запрещены для водоснабжения санэпидемстанциями из-за большого содержания в них вредных для здоровья людей веществ, солей тяжелых металлов. Эти грунтовые воды в большинстве агрессивны по отношению к фундаментам на портландцементе. В весенне-осенние периоды эти территории подтапливаются грунтовыми водами.

Пойменные террасы всех рек совсем не пригодны для устройства даже временных полигонов, они, как правило, относятся к водоохранным зонам. Как "высокая", так и "низкая" пойма затапливаются весенними паводками, первая - редко, вторая - каждый год. При сооружении ПТБО на более высоких террасах, прилегающих к пойменным, существенным

является их обваловывание с целью предотвращения прямого попадания поверхностного стока из районов полигонов в пойму реки.

Полевые исследования, например, существующей инфраструктуры свалочного комплекса Харьковской области свидетельствуют о том, что только 15% из них находятся в границах плато и высоких террас, 75% - на древнечетвертичных террасах, 10% - на низких террасах.

В поймах рек в небольших объемах встречается накопление мусора. Чаще всего это характерно для малых рек. Повышенную опасность такие накопления имеют в отработанных карьерах и оврагах, в бортах и дне которых обнажаются песчаные или кристаллические трещиноватые дочетвертичные отложения. На стадии выбора площадок под такие объекты это необходимо учитывать и предусматривать надежную изоляцию таких мест устройством противofiltrационных экранов. В особенности внимательно надо относиться при решении этих задач на тех территориях, которые совпадают с районами питания каневско-бучакского водоносного комплекса. При устройстве ПТБО возникает значительная потребность в глинистых и суглинистых грунтах с низкими фильтрационными свойствами для создания противofiltrационных экранов, дамб, перемычек, послойных перекрытий отходов (в 80% случаев это лессовидные суглинки). Максимальной мощности эти грунты достигают на границах древнечетвертичных террас. По направлению от водоразделов к речным поймам их мощность снижается. Эти породы эксплуатируются карьерами в основном для производства кирпича и других строительных нужд. Все плотины прудов отсыпаны этими суглинками и надежно удерживают в них воду. Древнечетвертичные красно-бурые и пестрые глины, залегающие близко от дневной поверхности, тоже являются хорошим материалом для обустройства полигонов ТБО. Они имеют еще меньшие коэффициенты фильтрации (менее 0.001м/сут.) и проявляют свойства набухания, делающие их еще более приемлемыми для этих целей. В особенности это обнаруживается при увлажнении их фильтратом, который накапливается на дне свалок.

При проектировании ПТБО в условиях уклонов поверхности более 4° необходима оценка возникновения сдвигов, особенно если ниже таких объектов по рельефу имеются какие-то сооружения.

Вышеизложенный короткий инженерно-геолого-экологический анализ показывает, насколько полными и целенаправленными должны быть изыскания на резервных участках строительства новых ПТБО.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПОД ПОЛИГОНЫ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ__

О.Д. Лющуков, главный эколог ХГИГО УкрНИИНТИЗ Госстроя Украины

Методологической основой для выполнения работ по выбору перспективных земельных участков под перспективное расположение полигонов ТБО является системный анализ современного состояния земельных участков и прилегающих к ним территорий, ситуаций к вопросам распаивания земли, наличия резервов как в границах, так и за пределами населенных пунктов.

В свою очередь, выбор перспективных участков под строительство новых полигонов ТБО базируется на существующей нормативной базе, изложенной в СП 2811-83 (санитарных правил), ДБН А.2.2-1-95 (ОВОС), ДБН А.2.2-3-97 (государственных строительных нормах относительно состава, порядка разработки проектной документации для строительства) и положениях Земельного кодекса Украины (раздел 1, общие положения, глава 5 ст.23 п.3, ст.30 п.2; раздел 1У, глава 19, ст.122 п.п.1,2,3, глава 20 ст.146, раздел У11, глава 29, ст.173, г.2, п.3, ст.174).

Технология выбора перспективного земельного участка под полигон ТБО включает:

- 1) определение местных нужд относительно удаления ТБО, наличия земельных / ресурсов по целевому назначению в отделах землеустройства, архитектуры и строительства местных администраций;
- 2) рекогносцировочные визуальные обследования с представителями контролирующих государственных учреждений, местной власти;
- 3) видное на топооснову границ перспективного участка при наличии материалов ' геодезической съемки;
- 4) экологически обоснованный выбор перспективных участков .в соответствии с ^ нормативными требованиями СП 2811 -83.

Пример: Выбор перспективного земельного участка под полигон ТБО в Богодуховском районе в междуречье р.Сухой Мерчик и Мерла (с.Петропавловка, с.Вертиевка, с.Газовое).

Характеристику резервного земельного участка под перспективное строительство полигона ТБО заполняют в специально разработанных формах, которые включают необходимый перечень показателей (приложение 1). На основании оценки условий размещения в заключительной части предоставляют перечень основных положительных факторов, а именно:

- выгодное экономико-географическое положение;
- близость железнодорожных путей;
- защищенность подземных и грунтовых вод, отсутствие отрицательных физико-геологических процессов;
- в геоморфологическом отношении земельный участок приурочен к водораздельному пространству;
- в геологическом строении территории принимают участие горные породы в виде глин и тяжелых суглинков, коэффициент фильтрации которых не более чем 10^{-5} см/сек. (0.0086 м/сут.) (приложение 2);
- выдержанность нормативной СЗЗ;
- уровень грунтовых вод на глубине более 2.0 м;
- одновременно территория не затопливается паводковыми водами.

Для конечного экологически обоснованного решения вопросов относительно перспективности полигона ТБО нужно провести полный комплекс инженерно-экологических изысканий.

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗЕРВНОГО ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА ПОД ПЕРСПЕКТИВНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ПОЛИГОНА ТБО

Площадка:

Район: Богодуховский

№ п/п	Перечень показателей	Характеристика показателей
1.	Географическая привязка и административная принадлежность земельного участка	В юго-восточном направлении на расстоянии 4 км от с. Петропавловка
2.	Абсолютные или относительные отметки поверхности. Общая площадь рабочей зоны	195.0-195.8 м 1 км ²
3.	Геоморфологическая приуроченность (пойма, терраса, плато); рельеф, тип рельефа	Плато, междуречье р. Мерла и р. Сухой Мерчик
4.	Склон поверхности (0-10°, 10-30°, более чем 30°)	0-10°
5.	Эрозионная активность территории. Наличие сдвигов, овражной эрозии, карста и других физико-геологических процессов	Отсутствуют
6.	Горизонтальная расчлененность территории санитарно-защитной зоны	Горизонтальная расчлененность незначительная
7.	Наличие выклинивания водоносных горизонтов, характер разгрузки подземных вод (восходящие, нисходящие источники, просачивание и пр.)	Выклинивание водоносного горизонта отсутствует. Основные подземные водоносные горизонты лито-логически защищены от техногенного влияния
8.	Наличие прудов, водохранилищ, рек возле свалок ТБО, включая санитарно-защитную зону	Отсутствуют.
9.	Характер и степень задернованности склонов.	Средне задернованная

10.	Состав растительных ассоциаций возле земельного участка	
11.	Вид современного хозяйственного пользования территорией	Сельскохозяйственные угодья (пахотные земли)
12.	Возможная дополнительная площадь	Возможная
13.	Степень пригодности участка к размещению свалки ТБО с учетом нормативных документов СП 2811-83, ДБН А.2.2-1-95 ОВНС (п.1.9).	Пригодная при условии проведения комплекса природоохранных мероприятий и с учетом экономической целесообразности. СЗЗ выдерживается
14.	Рекомендации для резервного земельного участка под перспективное строительство полигону ТБО	Площадка может быть, рассмотрена для перспективного строительства полигона ТБО при условии проведения полного комплекса инженерно-экологических изысканий.
15.	Графические приложения (схема или план землепользования)	(См. рис. 1 части первой)
16.	Дополнения	Материалы, которые использовались: Укрюжэкологии, (арх.) № 4027, рег. 212

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА *)

Рег.212,п.1 (скв. 22)
А.о. 195.8

№ слоя	Глубина подошвы	Геологический индекс	Описание грунта
1	6.70	Q	Почвенно-растительный слой. Глина буровато-серая, алевритистая, местами жирная на ощупь, плотная, участками слабоизвестковистая, редко с включением марганцевых бобовинок и небольших обломков бурого железняка
2	15.75		Глина буровато-серая, алевритистая, местами жирная на ощупь, плотная, местами слабоизвестковистая, редко с включением марганцевых бобовинок и небольших обломков бурого железняка, в нижней части сильно известковистая, с небольшими известковистыми стяжениями
3	21.9	N	Глина пестрая: желтовато-серая, с темно-вишневыми и охристо-желтыми пятнами и разводами, местами серовато-зеленая, алевритистая, жирная на ощупь, плотная
4	24.8	Рз-Н	Песок серовато-желтый, мелко- и среднезернистый, в верхней части с небольшой примесью крупнозернистого песка, слабоглинистый, уплотненный, книзу - менее глинистый
5	29.3		Песок желтовато-серый, кварцевый, мелкозернистый, с обилием алевритистых зерен, уплотненный
6	32.0		Песок желтовато-серый, местами серый, с охристо-желтыми пятнами и разводами, кварцевый, мелкозернистый, с обилием алевритистых зерен, глинистый, уплотненный
7	36.0		Песок желтовато-серый, участками светло-серый, редко с охристо-желтыми пятнами и разводами, мелкозернистый, с обилием алевритистых зерен, глинистый, уплотненный
8	40.0	Рз-М	Песок светло-серый, местами почти белый, с охристо-желтыми пятнами и разводами, кварцевый, мелкозернистый, с обилием алевритистых зерен, уплотненный
9	47.0		Песок желтовато-серый, с охристо-желтыми пятнами и разводами, книзу со слабым зеленоватым оттенком, кварцевый, мелкозернистый, с обилием алевритистых зерен, уплотненный
10	51.5		Песок желтовато-серый, со слабым зеленоватым оттенком, редко с охристо-желтыми пятнами и разводами, кварцевый, мелкозернистый, с обилием алевритистых зерен, уплотненный
11	63.0		Глина темно-серая, в верхней части с зеленоватым оттенком, алевритистая, местами жирная на ощупь, слоистая по плоскостям наслоения, с присыпками серого алеврита, плотный

12	78.6	P ₃	Алеврит зеленовато-серый, кварцевый с глауконитом, слюдистый, глинистый, уплотненный до слабосцементированного песчаника. Глина темно-зеленая, слабо алевритистая, слюдистая, жирная на ощупь, плотная, слоистая по плоскостям на-слоения, с присыпками серого алеврита. Алеврит зеленовато-серый, кварцевый, с глауконитом, слюдистый, глинистый, уплотненный до слабосцементированного песчаника Алеврит зеленовато-серый, кварцевый с глауконитом, слюдистый, глинистый, уплотненный. Алеврит более глинистый по каротажу. Алеврит менее глинистый по каротажу. Глина зеленовато-серая, сильно алевритистая, слюдистая, местами с гнездами серого алеврита, плотная, в нижней части с .плохо сохранившейся рыбьей чешуей. Алеврит зеленовато-серый, с пятнами и разворотами серо-го, кварцевый с глауконитом слюдистый, глинистый, уп-лотненный до слабосцементированного песчаника, книзу крепкий
13	163.0	P ₂	Мергель серовато-зеленый, алевритистый, местами с гнездами алеврита, слюдистый, плотный, излом почти ровный редко с остатками плохо сохранившейся рыбьей чешуи
14	170.0		Песок серый со слабым зеленоватым оттенком, кварцевый, мелкозернистый, с небольшой примесью глауконита, гли-нистый, уплотненный
15	174.0		Алеврит зеленовато-серый, книзу светло-серый, с зелено-ватым оттенком, кварцевый, мелкозернистый, с неболь-шой примесью глауконита, глинистый, уплотненный
16	182.0	P ₁	Песчаник зеленовато-серый, пятнами светло-серый, квар-цевый, с небольшой примесью глауконита, мелкозерни-стый, с включением крупных зерен Кварца, очень крепкий, частично окремнелый. Алеврит темно-серый, кварцевый, слабослюдистый, гли-нистый, очень крепкий, местами окремнелый. Глина темно-серая, местами со слабым зеленоватым от-тенком, сильно алевритистая (почти алеврит сильно гли-нистый) с гнездами серого алеврита, слюдистая, плотная
17	186.0		Песчаник темно-серый с желтоватым оттенком, кварце-вый, с небольшой примесью глауконита, мелкозернистый, редко с включением крупных зерен кварца, слюдистый, глинистый, очень крепкий. Алеврит серый с зеленоватым оттенком, кварцевый, с не-большой примесью глауконита, слюдистый, сильно глини-стый, с гнездами темно-серого цвета, уплотненный до сла-босцементированного песчаника
18	202.0	P ₁	Песчаник темно-серый со слабым зеленоватым оттенком, кварцевый, с небольшой примесью глауконита, мелкозер-нистый, слюдистый, с включением хорошо скатанной черной кремневой гальки, глинистый, очень крепкий

19	207.0	P ₁	Алеврит глинистый или глина алевритовая с прослоем алеврита пепельно-серая, кварцевая, слюдистая, известняковая, очень крепкая
20	236		Алеврит тот же с прослойками алеврита с зеленовато-серый книзу светло-серый с зеленоватым оттенком, кварцевый, слюдистый, глинистый, уплотненный

*) По материалам Укрюжгеологии, арх. № 4027.

Список литературы

1. Абрамович И.А. Канализация города Харькова (1912-1980 гг.): опыт проектирования и строительства. – Харьков: Основа, 1997. – 239 с.
2. Абрамович И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции систем транспортирования сточных вод. – Харьков: Основа, 1996. – 316 с.
3. Абрамович И.А., Ситническая Э.А. Повышение надежности эксплуатации коллекторов городской канализации // Водоснабжение и санитарная техника. - 1990. - № 12. – С. 7-8.
4. Актуальные вопросы биоповреждений / Под ред. Б.В.Бочарова. – М., 1983. – 102 с.
5. Александровская З.И. и др. Организация службы мусороудаления и уборки городов.- М.: Стройиздат, 1976.
6. Андреюк Е.И., Коптева Ж.П. Микробное повреждение изоляционных покрытий газопроводов // Микробиологический журн. – 1987. – 49, № 2. – С. 42-46.
7. Андреюк Е.И., Рожанская А.И., Дрозд Г.Я. Трансформация техногенных силикатов и алюминатов // Тез. докл. 9 международного симпоз. по биогеохимии окружающей среды. – М., 1989. – С. 130.
8. Африкян Э.Г. Микробные повреждения полимеров: подходы для их прогнозирования // Вісник Одеського національного університету (за матеріалами конференції “Біологія”. Т. 6. Вип. 4. – Одеса, 1990. – с.20-24.
9. Бабаев В.Н. Современные методы санации трубопроводов и задачи городских органов исполнительной власти к их внедрению // Тез. доп. науково-практичного семінару “Безтраншейні технології відновлення водопровідно-каналізаційних мереж”, Суми, 23-24 вересня 1999 р.
10. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа. – Харьков: Вища школа, 1989. – 168с.
11. Безрук А.Ю. Изучение состава газовых выбросов от шахт канализационных коллекторов // Сб. докл. международного конгресса ЭТЭВК. – М., 1999. – С. 111-112.
12. Бицидные растворы и бетоны / Иванов Ф.М., Рогинская Е.Л., Серебреник В.А., Гончаров В.В. // Бетон и железобетон. - 1989. - № 4. – С. 8-10.
13. Благник Р., Занова В. Микробиологическая коррозия. – М. – Л.: Химия, 1965. – 224 с.
14. Бристон Дж. Х., Катан Л.Л. Полимерные плёнки. - М.: Химия, 1993.
15. Бритвін О.О., Шипок І.І., Зайцев Л.П. Ремонт трубопроводів із застосуванням поліетиленових труб // Будівництво України. – 2003. - № 1. – С. 22-24.
16. Булатов Г.А. Полиуретаны в современной технике. / Пер. с англ. - М.: Машиностроение, 1983.-272 с.
17. Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров. - М.: Химия, 1976.- 416 с.
18. Васильев В.М. Гидравлические и аэродинамические параметры потока в канализационном коллекторе и их влияние на его долговечность // Основные

- направления повышения эффективности строительства и эксплуатационной надежности канализационных коллекторов и тоннелей: Тез. докл. II науч. – техн. совещ. – М., 2002. – С. 21-22.
19. Васильев В.М. К расчету естественной вентиляции канализационных коллекторов // Подземное пространство мира. Проблемы устойчивости и резервы безопасности. Вып. 1. – М., 1994. – С. 15-18.
 20. Воробьева Г.Я. Химическая стойкость полимерных материалов. – М.: Химия, 1981. – 296 с.
 21. Гончаренко В.Ф., Домекин Г.А. Эффективное использование эпоксидных смол для ремонта коллекторных тоннелей // Тез докл. IV украинской научно-технической конференции "Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве". – Харьков, 1996. – С. 75-76.
 22. Гончаренко Д.Ф., Коринько И.В. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений. – Харьков: Рубикон, 1999. – 368 с.
 23. Горох Н.П. Оценка объемов несанкционированного вывоза отходов и обследование мест несанкционированного размещения свалок в г. Харькове. – Харьков, ЦУПО, 2000.
 24. Грасси Н. Химия процессов деструкции полимеров. – М.: Химия, 1959. – 252 с.
 25. Дрозд Г.Я. Жизнедеятельность микроорганизмов в порах бетона / Прикладная биохимия и микробиология. – 1986. – Т. XXII. Вып. 6. – С. 844-846.
 26. Дрозд Г.Я. Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей: Дисс. д-ра техн. наук: 21.00.08 / Макеевка: Донб. гос. акад. строит. и archit. – 1998. – 320 с.
 27. Дрозд Г.Я., Матвиенко В.А., Губарь В.Н. Биоповреждения бетона сооружений станций биологической очистки сточных вод. / Биоповреждения и методы оценки биостойкости материалов. – М., – 1988. – С. 91-96.
 28. Дрозд Г.Я., Рожанская А.М. Роль микроорганизмов в разрушении бетонных канализационных коллекторов // Микробиологический журнал. – 1989. – Т. 51, № 6. – С. 86-92.
 29. Дрозд Г.Я., Соболев М.А., Варенко Ю.С. Коррозия бетона под влиянием *Cariophanon* sp. // Микробиологический журнал. – 1987. – Т. 49, № 1. – С. 61-64.
 30. ДСТУ-3999-2000. Покриття захисні полімерні, нафтобітумні й кам'яновугільні. Методи лабораторних випробувань на біостійкість. Чинний від 2001-07-01. Видання офіційне. – К., Держстандарт України, 2001.
 31. Елшин Н.М. Полимербетоны в гидротехническом строительстве. – М.: Стройиздат, 1980. – 172 с.
 32. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. – М.: Наука, 1984. – 199 с.
 33. Заварзин Г.А. Литотрофные микроорганизмы. – М.: Наука, 1972. – 323 с.
 34. Завгородний В.К. Механизация и автоматизация переработки пластических масс. – М.: Машиностроение, 1970.
 35. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений: Справочник: В 2-х томах. / Под ред. А.А. Герасименко. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 1. – 688 с.
 36. Збірник нормативно-методичних документів у сфері поводження з відходами. – Харків: НДПІ "Енергосталь", 1999. – 162 с.

- 37.Золочевская И.В. Биоповреждения каменных строительных материалов микроорганизмами и низшей растительностью в атмосферных условиях // Биоповреждения в строительстве / Под ред. Ф.Ш.Иванова, С.Н. Горшина, - М.: Стройиздат, 1984. – С. 257-261.
- 38.Иванов Ф.М., Дрозд Г.Я. Долговечность бетонных и железобетонных коллекторов // Бетон и железобетон. – 1989. - № 12. – С. 32-33.
- 39.Инфицирование капиллярно-пористых материалов микроорганизмами / Рожанская А.М., Гончаров В.В., Теплицкая Т.В., Андреюк Е.И. // Докл. АН УССР. – 1988. - № 12. – С. 60-62.
- 40.Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. – Л.: Наука, 1984. – 124 с.
- 41.Каравайко Г.И., Жеребятнева Т.В. Бактериальная коррозия бетонов // Докл. АН СССР. – 1989. – Т. 306, № 2. - С. 477-481.
- 42.Каравайко Г.И., Ляликова Н.Н., Пивоварова Т.А. Микроорганизмы рудных месторождений, их физиология и геохимическая деятельность // Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов. – Пущино: Научн. центр биол. исслед. АН СССР. - 1976. – С. 25-57.
- 43.Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.
- 44.Клозе Н. Сульфидная коррозия бетонных канализационных труб / Реф. сб. "Строительные материалы и изделия" Сер. 7, Вып.15. – М. – 1980. – С. 11-13.
- 45.Козлова И.А. Микробиологическая коррозия и защита от нее. – К.: Знання, 1982. - С. 92-98.
- 46.Концепция комплексного улучшения санитарно-эпидемиологического состояния г. Харькова по направлениям работы ГКП «Харьковкоммуночиствод» - Харьков, 1999.
- 47.Коринько И.В. Опыт применения бестраншейных технологий при ремонте канализационных коллекторов в г. Харькове / Современные водные технологии. Научн. – практ. сб.: – Харьков, 2002. – С. 14-17.
- 48.Коринько И.В., Гончаренко Д.Ф. Технологические задачи повышения эксплуатационной надежности канализационных сетей // Сб. докл. Международного конгресса ЭТЭВК-99. – Ялта, 1999. – С. 135-137.
- 49.Коринько И.В., Горох Н.П. Впровадження технології переробки тари та упаковки на ДКП “Харківкомуночиствод” з опробуванням організаційних, економічних засад з урахуванням наявної бази даних про їх утворення. – Харьков, СВНЦ НАН Украины, 2000.
- 50.Коринько І.В., Піліграм С.С., Зеленський Б.К. Пластмаси і полімери на спорудах водовідведення // Коммунальное хозяйство городов. Начн. – техн. сб. Вып. 22. – К.: Техника, 2000. – С. 3-7.
- 51.Леонтьев Л.И., Юсфин Ю.С., Черноусов П.И. Отходы: воздействие на окружающую среду и пути утилизации // ЭкиП Экология и промышленность России. – 2003. - № 3. – С. 32-35.
- 52.Липатов Ю.С., Керча Ю.Ю., Сергеева Л.М. Структура и свойства полиуретанов. – К.: Наукова думка, 1970.- 278 с.

53. Любешкина Е.Г. Вторичное использование полимерных материалов. – М.: Химия, 1985.
54. Максаковский В.П. Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды. – М.: Прогресс, 1977.
55. Маския Л. Добавки для пластических масс. – М.: Химия, 1978.
56. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова – К.: Наукова думка, 1980. – 287с.
57. Минскер К.С., Федосеева Г.Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. – М.: Химия, 1979.
58. Минскер К.С. Вторичное использование поливинилхлорида. // Вторичное использование полимерных материалов. – М.: Химия, 1985.
59. Мир упаковки / Журнал, 2001-2002.
60. Михайлова Л.К. Биозасорение нефтяных дистиллятных топлив в условиях их хранения и применения в технике. // Автор. дисс... канд. биол. наук: 03.00.07. – М., 1989. – 23 с.
61. Мишустин Е.Н. Круговорот азота и его соединений в природе / Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе. – М.: Наука, 1979. – С. 68-91.
62. Найманов А.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Защита от коррозии систем коммунального хозяйства. – Донецк: ИЭПНАН Украины, 2001. – 79 с.
63. Наumenко А.С., Гольдфельд С.Ш., Бубенко В.А. Вторичная переработка полимерных материалов. – Харьков: ХЦНТИ, 1989.
64. Нелсон У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов / Пер. с англ. – М.: Химия, 1979.
65. Новые конструкционные материалы. Стратегия бизнеса, пути внедрения. (Обзор по материалам семинара) // Пластические массы. – 2001, № 11 – С. 3-6.
66. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. – М.: Химия, 1982.
67. Полимерные материалы (Изделия, оборудование, технологии). / Журнал 2000-2001.
68. Проблеми охорони навколишнього середовища та техногенної безпеки. Юбілейний випуск ХХХ (1971-2001). – Харьков: УкрНИИЭП, 2001.
69. Резниченко Т.И., Подгорная Л.Ф. Расчет оборудования по производству и переработке полимерных материалов в примерах и задачах. – Харьков: ХГПУ, 1994.
70. Рекомендации по приготовлению и применению биоцидных строительных растворов и бетонов. – М.: НИИЖБ, 1987. – 23 с.
71. Рогинская Е.Л. Биоцидные добавки – одно из средств повышения коррозионной стойкости бетона // Способы повышения коррозионной стойкости бетона и железобетона. – М., НИИЖБ, 1987. – С. 102-109.
72. Рожанская А.М. Микробная коррозия железобетонных строительных конструкций. – Автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.07 / – К.: Ин-т микробиологии и вирусологии АН УССР, 1990. – 16с.
73. Санитарная очистка и уборка населенных мест. Справочник. – М.: Стройиздат, 1990. – 415 с.

- 74.Саратов И.Е., Ютин И.В. Анализ современных проблем в сфере обращения с ТБО. // Інтегровані технології та енергозбереження – 2002. - № 1. – С. 115-118.
- 75.Семчешов Ю.Д., Жильцов С.Ф., Кашаева В.Н. Введение в химию полимеров. – М.: Высш. шк., 1988.
- 76.СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии / Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. - 48 с.
- 77.Стрепихиев А.А., Деревницкая В.А. Основы химии высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1976.
- 78.Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. – М.: Химия, 1975.
- 79.Твердые отходы: возникновение, сбор, обработка и удаление (под редакцией Ч. Мантелла, перевод с англ.) – М.: Стройиздат, 1976. – 519 с.
- 80.Твёрдые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка. – М., 1997.
- 81.Томас Д. Блюмфельд Трубопроводы из полимербетона для сточных вод и канализации // Основные направления повышения эффективности строительства и эксплуатационной надежности канализационных коллекторов и тоннелей. Сб. докл. II научн.-техн. сов. – М., 1994. – С. 11-12.
- 82.Утилизация твердых отходов (под редакцией Д. Вилсона, перевод с англ.) – М.: Стройиздат. 1985. – Т.1 – 336 с. – 1988. – Т.2 – 348 с.
- 83.Фурманенко О.С., Петухов И.С., Мурза Н.С. Прибирання та санітарне очищення місць. – К.: Будівельник, 1991.
- 84.Фурманенко О.С. та ін. Прибирання та санітарне очищення населених місць. – К.: Будівельник, 1991. – 145 с.
- 85.Читошвили Т.Г., Гуджеджиани Э.Н. Тионовые бактерии как фактор коррозии бетонных сооружений, омываемых сероводородными минерализованными водами // Биоповреждения в строительстве / Под ред. Ф.Ш. Иванова, С.Н. Горшина. - М.: Стройиздат, 1984. – С. 193-203.
- 86.Шевяков В.П. Антикоррозионная защита коммунальных тоннелей химически стойкими материалами // Основные направления повышения эффективности строительства и эксплуатационной надежности канализационных коллекторов и тоннелей. Сб. докл. II научн.-техн. сов.– М., 1994. – с. 27-29.
- 87.Шевченко Ю.П., Дмитренко Т.Д. Справочник по санитарной очистке городов и посёлков. – К.: Будівництво, 1984.
- 88.Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс / Пер. с нем. – Л.: ГНТИ химической литературы, 1962.
- 89.Шепелевич Н.И. Прогнозирование сроков службы самотечных канализационных коллекторов из сборного железобетона // Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону: Зб. наук. праць другої Всеукраїнської науково-технічної конференції – Київ: НДІБ. - 1999. – С. 574-578.
- 90.Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс / Пер. с нем. / Под ред. В.А. Брагинского. – Л.: Химия, 1987.
- 91.Шубов Л.Я., Ставровский М.Е., Шехирев Д.В. Технология отходов мегаполиса, технологические процессы в сервисе. – М., 2002.
- 92.Экология города // Под общ. ред. Ф.Стольберга) – К. : Либра, 2000.

93. Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сб. науч. трудов. – Харьков, 2001-2002.
94. Юрченко В.А. Влияние процессов иммобилизации микробиоценоза на хемосинтез в системах водоотведения // Химия и технология воды. – 2002. – Т. 24, № 2. – С.191-197.
95. Юрченко В.А. Микробиологические трансформации азота в техногенных экосистемах сооружений водоотведения // Химия и технология воды. - 2002. - Т. 24. - № 1. - С. 87-93.
96. Юрченко В.А., Ольгинский А.Г., Чернявский В.Л. Биогеохимическая коррозия бетона сооружений отведения сточных вод // Экология и ресурсосбережение. – 2001. - № 6. –С. 61-66.
97. Юрченко В.О., Корінько І.В. Роль мікробіологічного чинника в забезпеченні експлуатаційної надійності бетонних споруд водовідведення // Вісник проблем біології і медицини. -2002. - Вип.5. - С.85-88
98. Flemming, H.-C., Microbial Deterioration of materials – Fundamentals: Eco-nomical and Technical Overview, Werkstoffe und Korrosion. - 1994. - V. 45. - P. 5-9.
99. Gregor A. Field investigation of sewer corrosion / Corrosion of Concrete Sewers. - 1958. – N 12. – P. 666.
100. Kaltwasser H. Destruction of concrete by nitrification // Env. Appl. Microbiol. – 1976. - N 3. - P. 185-192.

Учебное издание

Полимерные отходы в коммунальном хозяйстве города

Учебное пособие

Под общей редакцией Бабаева Владимира Николаевича,
Коринько Ивана Васильевича,
Шутенко Леонида Николаевича

Редактор Н.З. Алябьев
Техническая редакция и компьютерная верстка Л.Н. Швец
Корректор З.И. Зайцева

План 2004, поз. 3

Подп. к печати 12.05.04 .

Печать на ризографе. Уч. – изд.17,6.
Зак. №

Формат 70 x 100 / 16. Бумага офисная.

Усл.– печ. л. 15,8. Тираж 500 экз.

61002, Харьков, ХНАГХ, ул. Революции, 12
Сектор оперативной полиграфии ХНАГХ