

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**А.С. НОВОСЁЛОВ**

---

# **УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ**

---

*Утверждено редакционно-издательским советом  
Вологодского государственного университета  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлениям  
022000.62 – «Экология и природопользование»  
и «020802 – «Природопользование»*

Вологда  
2013

УДК 502.7+574(075.8)  
ББК 30.69  
Н 78

**Рецензенты:**

**Н.А. Дружинин**, доктор сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник, заведующий  
Вологодской региональной лабораторией Северного НИИ лесного хозяйства;  
**С.М. Чудновский**, кандидат технических наук, доцент кафедры  
комплексного использования и охраны природных ресурсов  
Вологодского государственного университета

**Новосёлов, А.С.**

**Н78 Управление отходами:** учебное пособие / А.С. Новосёлов. – Вологда:  
ВоГУ, 2013. – 224 с.

ISBN 978-5-87851-510-8

Пособие подготовлено на кафедре геоэкологии и инженерной геологии в соответствии с рабочей программой и требованиями государственного образовательного стандарта высшего образования РФ.

В работе рассматриваются вопросы влияния отраслей народного хозяйства на состояние окружающей среды и особенности техногенных загрязнений. Основное внимание уделяется базовым вопросам защиты атмосферы, гидросферы и литосферы от различного рода загрязнений с приведением иллюстраций и схем работы очистных сооружений на предприятиях, а также сведений по защите окружающей среды от отходов автотранспорта и ракетно-космической техники.

В пособии приводятся основные положения о защите окружающей среды от специфических видов загрязнений и международном сотрудничестве в области охраны окружающей среды. Изложены контрольные вопросы для самостоятельной проработки.

Предназначено для студентов факультета Экологии, обучающихся по направлениям бакалавриата **022000.62 – «Экология и природопользование»** и специальности **020802 – «Природопользование»** очного и заочного отделений, но также будет полезно студентам для выполнения курсовых и выпускных квалификационных работ. Представляет интерес для преподавателей вузов и специалистов по вопросам экологии и лесного хозяйства, обеспечивающих нормальную эксплуатацию производственных мощностей предприятий и городского хозяйства.

УДК 502.7 + 574(075.8)  
ББК 30.69  
Н 78

ISBN 978-5-87851-510-8

© А.С. Новосёлов, 2013  
© ВоГУ, 2013

## ВВЕДЕНИЕ

---

Мировой технический прогресс, базирующийся на использовании человеком природных ресурсов в качестве сырьевых материалов и создании им техносферы, представляющей собой территории, занятые городами и поселками с соответствующей инфраструктурой, закономерно привёл к тому, что существование человека стало экологически опасным, прежде всего, –

- из-за образования и накопления огромного количества отходов производства и потребления,
- из-за негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной деятельности,
- из-за истощения природных ресурсов (в первую очередь, пресной воды).

Всё то, что человек производит для обеспечения жизнедеятельности и удовлетворения своих постоянно растущих потребностей, в конечном итоге переходит в категорию отходов.

В соответствии с агрегатным состоянием образовавшиеся отходы можно подразделить на твёрдые, жидкие и газообразные. Их негативное воздействие на окружающую среду связано с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух (газообразные отходы), сбросами загрязняющих веществ в водные объекты и на водосборные площади (сточные воды), размещением отходов производства и потребления на специальных объектах. Поэтому процессы инженерной защиты окружающей среды должны предусматривать защиту атмосферы, гидросферы и литосферы. При этом необходимо учитывать, что **техносфера**, созданная человеком с помощью технических средств и превращённая в среду обитания, удовлетворяющую растущим социально-экономическим потребностям человека, **не саморазвивающаяся среда (!)** и без инженерной поддержки будет деградировать.

Сегодня **человечество осознало**, что:

- **во-первых**, технический прогресс остановить невозможно (мы не можем вернуться к темпу и уровню жизни наших предков);
- **во-вторых**, отходы – это главные загрязнители окружающей среды;
- **в-третьих**, техносфера по своему качеству не должна значительно отличаться от природной среды (должны удовлетворяться требования к качеству среды обитания).

Исходя из сказанного, нужно сделать обоснованный вывод, что экология, технический прогресс и техносферное развитие (включая сервис экосистем и природоохранных объектов) должны быть системно связаны. Частный вывод: экологическая безопасность любой страны во многом зависит от решения проблемы отходов. Ещё в середине XX века Нильс Бор произнёс пророческие слова: *«Человечество не погибнет в атомном кошмаре, оно захлебнется в собственных отходах»*. Альберт Эйнштейн глубже развил эту мысль: *«Окружающая среда – это то, во что превращается природа, если её не охранять»*.

Очевидно, что системное решение задач инженерной защиты окружающей среды при обращении с отходами производства и потребления невозможно без профессиональной подготовки кадров. К сожалению, образование в этой сфере значительно отстаёт от требований жизни (особенно если учесть, что ни в одной сфере человеческой деятельности у России нет такого отставания, как в сфере об-

ращения с отходами). Не случайно на парламентских слушаниях в Совете Федерации 25 декабря 2009 года по теме «Проблемы нормативно-правового и технологического обеспечения обращения с отходами производства и потребления» Министерству образования и науки Российской Федерации рекомендовано разработать для вузов специализированные учебные пособия по обращению с отходами производства и потребления с учётом имеющихся справочных рекомендательных документов Европейского Союза о наилучших доступных технологиях в области обращения с отходами.

Стратегия управления отходами базируется на решении следующих основных задач:

- минимизация количества образующихся отходов производства и по возможности предотвращение их образования;
- минимизация количества образующихся отходов потребления, направляемых на объекты захоронения и обезвреживания;
- изыскание и применение экологически безопасных методов переработки отходов с наименьшими экономическими затратами;
- максимально возможное вовлечение отходов в хозяйственный оборот и их материально-энергетическая утилизация как техногенного сырья.

Научно обоснованная экологическая политика, включая её законодательные, технологические, экономические, социальные и иные аспекты, невозможна без профессионально подготовленных кадров. Особую роль при решении проблемы отходов приобретает квалифицированная инженерная деятельность специалистов, владеющих эффективными инженерными методами обеспечения экологической безопасности в данных технико-экономических условиях.

По своей природе техногенное сырьё может быть использовано как вторичные материальные и энергетические ресурсы. Вместе с тем, сегодня в хозяйственный оборот вовлекается всего около десяти процентов образующихся твёрдых отходов. Это очень мало. В то же время в настоящих технико-экономических условиях невозможна утилизация отходов на уровне 100%. Наука и практика отстают от требований времени.

Проблема отходов для своего решения требует больших капиталовложений и должна решаться поэтапно, но обязательно целенаправленно и непрерывно. Важнейшую роль при этом играют комплексный подход, подготовка специалистов, принятие научно обоснованных (а не конъюнктурных) решений, своевременное финансовое и научно-техническое обеспечения.

Проблема утилизации твёрдых отходов сложна сама по себе. В частности, по мере увеличения доли вторичного сырья в материально-производственных циклах, может ухудшаться качество готовой продукции, например, за счёт накопления примесного вещества (при выплавке из металлолома в стали могут накапливаться тяжёлые цветные металлы), снижения качества сырья (например, в целлюлозной массе вследствие использования макулатуры уменьшается доля длинного волокна, что постепенно приводит к снижению прочностных свойств бумаги). При термической (энергетической) утилизации отходов процесс переработки может значительно осложняться из-за наличия в отходах опасных компонентов и металлов, низкой теплотворной способности отходов. Поэтому рациональная утилизация твёрдых отходов, как правило, требует применения дополнительных технологических операций с целью придания отходам необходимых свойств и качеств. Иными словами, независимо от принципиальных направлений переработки, требуется

подготовка сырья к последующим материальной, термической, биотермической и другим утилизациям.

Удаление твёрдых бытовых отходов (ТБО) на свалки (полигоны), имеющее глубокие исторические корни, следует рассматривать как вынужденное, в какой-то степени сиюминутное решение проблемы, в принципе противоречащее экологическим и ресурсным требованиям. Поскольку свалки всё дальше удаляются от городов, а плечо вывоза ТБО не может бесконечно увеличиваться, весьма актуальным становится решение второй задачи – минимизации количества отходов, направляемых на захоронение. Эта задача решается путём вовлечения ТБО в сортировку и промышленную переработку. Именно промышленная переработка, занимающаяся в совокупности вопросами обезвреживания, ликвидации и материально-энергетического использования ТБО, представляет собой кардинальный путь решения этой проблемы.

Постепенный переход от полигонного захоронения к промышленной переработке служит основной тенденцией решения проблемы ТБО в мировой практике. Научно обоснованный подход к решению проблемы отходов и ТБО в России пока отвергается, в частности, к принятию технологических решений. На действующих объектах применяются и в проекты ряда новых объектов закладываются несовершенные технологии; механический перенос западных технологий в российские условия без их адаптации, как показала практика, не даёт положительных результатов, поскольку российские ТБО значительно более сложны для переработки, чем ТБО в западных странах.

Анализ развития производства биотоплива в ведущих зарубежных странах свидетельствует о значительном усилении роли лесного сектора в решении вопросов энергообеспечения, интенсивном росте объёмов производства топлива из древесного сырья.

Отдельно стоит сказать о **биоэнергетике**. На сегодня она – это активно растущий сектор экономики, основанный на использовании биомассы. Она стала приоритетным направлением развития национальной экономики США, Бразилии, Канады, стран Европейского Союза, где были приняты программы и законы, стимулирующие развитие производства биотоплива.

За последние три года ценовая конкурентоспособность биотоплива повысилась в сравнении с традиционным углеводородным топливом на 29, а этанола – на 17,4 %. Это есть результат усовершенствования технологий производства биотоплива и повышения мировых цен на традиционные энергоресурсы. Лесная биоэнергетика теснейшим образом связана с технологиями лесохозяйственных работ, лесозаготовок и деревопереработки. Поэтому её проблемы могут решаться только комплексно с соответствующим кадровым обеспечением.

Настоящее учебное пособие впитало опыт Правил, монографий, наставлений, нескольких учебников и учебных пособий. Разнородная информация в области технологий была систематизирована на основе единого методологического подхода к их оценке с позиций экологии, экономики, ресурсо- и энергосбережения. Углублённое изучение методов инженерной защиты окружающей среды при обращении с отходами будет способствовать ускорению научно-технического прогресса при решении важных природоохранных задач.

## РАЗДЕЛ 1. ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

**Загрязнение** – это всё то, что находится не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы, что выводит её системы из состояния равновесия и отличается от обычно наблюдаемой нормы. Загрязнение может быть вызвано любым агентом, как загрязняющим веществом, так и самым чистым. Из-за огромных количеств загрязняющих веществ, образующихся в процессе деятельности человека и поступающих в окружающую среду, её способность к самоочищению часто находится на пределе. Значительная часть этих веществ (рис. 1) чужда природной среде: они либо ядовиты для микроорганизмов, разрушающих сложные органические вещества и превращающих их в простые неорганические соединения, либо вообще не разрушаются и поэтому накапливаются в различных компонентах природной среды. Даже те вещества, которые привычны для окружающей среды, поступая в неё в слишком больших количествах, могут изменять её качества и воздействовать на экологические системы.

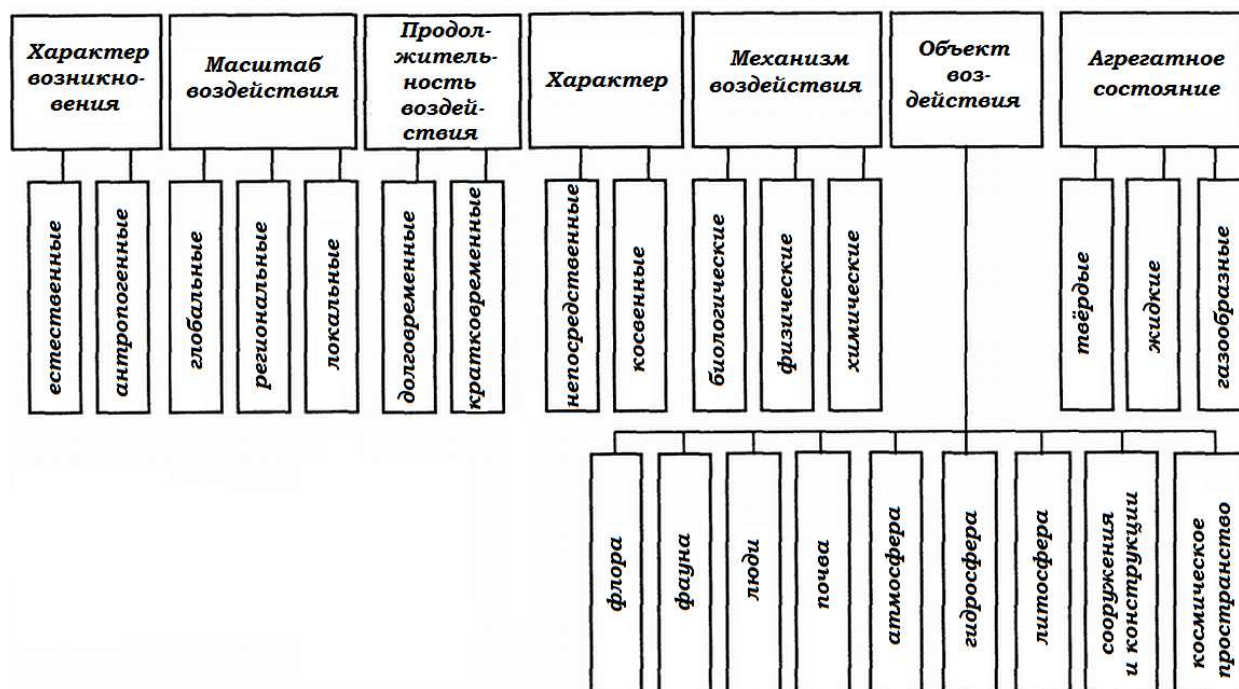


Рис. 1 – Классификация загрязнений

Уровень загрязнения природной среды контролируется нормативами предельно допустимых уровней нагрузок на компоненты природной среды. Основными количественными показателями предельного уровня загрязнения в зависимости от характера загрязнителя, загрязняемой компоненты природной среды и её чувствительности к загрязнениям могут быть: предельно допустимая концентрация (ПДК), предельно допустимый выброс (ПДВ), предельно допустимый сброс (ПДС), предельно допустимый уровень (ПДУ), предельно допустимая доза (ПДД) и прочие показатели. С учётом того обстоятельства, что существует множество загрязнителей, загрязняемых сред и их назначений, перечни упомянутых характеристик составляют сотни наименований. Количественные значения этих характеристик вводятся в действие системой природоохранных нормативов.

Различают загрязнения – атмосферы, гидросферы, почвы, космического пространства, а по объекту воздействия – загрязнения фауны, флоры, людей, ма-

териалов и конструкций.

**Загрязнение атмосферы** – привнесение в воздух или образование в нём химическими веществами или организмами физических агентов (переносчиков), неблагоприятно воздействующих на среду жизни или наносящих урон материальным ценностям, а также образование антропогенных физических полей.

**Загрязнение гидросферы** – это поступление в воду загрязнителей в количествах и концентрациях, способных нарушить нормальные условия среды в значительных по размерам водных объектах.

**Загрязнением почвы** называется привнесение и возникновение в почве новых, обычно не характерных для неё физических, химических или биологических агентов, которые меняют ход почвообразовательного процесса (тормозят его), резко снижают урожайность, вызывают накопление загрязнителей в растениях (например, тяжёлых металлов), из которых эти загрязнения прямо или косвенно (через растительные или животные продукты питания) попадают в организм человека.

**Загрязнение космического пространства** – это общее засорение околоземного и ближнего космического пространства космическими объектами. Наиболее опасно радиоактивное загрязнение из-за вывода на орбиты и разрушения ядерных реакторов, кроме того, «космического мусора», который вносит помехи в нормальное функционирование наземных радиотехнических и астрономических приборов.

По характеру воздействия загрязнения подразделяют на первичные и вторичные. **Первичное** – это поступление в окружающую среду непосредственно загрязнителей, образуемых в ходе естественных природно-антропогенных и чисто антропогенных процессов; а **вторичное загрязнение** – образование (синтез) опасных загрязнителей в ходе физико-химических процессов, идущих непосредственно в окружающей среде. Таким образом, из нетоксичных составляющих в некоторых условиях образуются ядовитые газы – фосген; фреоны, химически инертные у поверхности Земли, вступают в стратосфере в фотохимические реакции, вырабатывая ионы хлора, служащие катализатором при разрушении озонового слоя (экрана) планеты. Отдельные реагенты такого взаимодействия могут быть неопасными.

Загрязнения могут иметь как природное, так и антропогенное происхождение. **Первые** – это загрязнения окружающей среды, возникающие без участия человека, часто в результате неблагоприятных или опасных природных явлений. **Вторые** же большей частью обусловлены техногенным воздействием на природную среду, относящимся к предмету изучения промышленной экологией. Поэтому ниже речь будет идти в основном о загрязнении среды, имеющем техногенное происхождение.

Причинами природных загрязнений могут быть:

- извержения вулканов и, как следствие, выбросы больших количеств вулканических газов, пепла, лавы и тепла;
- селевые потоки (грязевые и грязекаменные), обрушивающие большие массы мелкозёма, почвы, камней;
- лесные пожары;
- пыльные и песчаные бури, переносящие большие количества пыли и песка;
- процессы выветривания горных пород;
- затопления территорий в результате паводков и половодий, выпадения ливневых дождей, прохождения тропических циклонов, наката волн цунами;
- процессы разложения живых организмов.

**Техногенные загрязнения** подразделяются на химические, физические (тепловые, радиационные, шумовые, вибрационные, электромагнитные), механические, биологические, информационные и другие виды. Влияние деятельности

человека на природу ощущается практически везде. Источники таких загрязнений весьма разнообразны и определяются спецификой промышленных предприятий.

Выбросы в окружающую среду классифицируются **по агрегатному состоянию** и **по массовому выбросу**. В первом случае – различаются газо- и паробразные, жидкие, твёрдые и смешанные выбросы, а во втором – выделяются шесть групп: **1)** менее 0,01; **2)** 0,01 – 0,1; **3)** 0,1 – 1,0; **4)** 1,0 – 10; **5)** 10 – 100 и **6)** свыше 100 т/сутки. Загрязнения, также, разделяются на две основные группы (рис. 2): материальные (включая химические загрязнения) и энергетические. **По своему происхождению** промышленные загрязнения могут быть механическими, химическими, физическими и биологическими.

**Механические** – это запыление атмосферы, твёрдые частицы и разнообразные предметы в воде и почве.

**Химические загрязнения** – это всевозможные газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы, попадающие в атмосферу и гидросферу и вступающие во взаимодействие с окружающей средой.

**Физические** – все виды энергии как отходы разнообразных производств: тепловой, механической (включая вибрации, шум, ультразвук), световой (видимая, инфракрасная и ультразвуковые части спектра), электромагнитные поля и ионизирующие излучения.

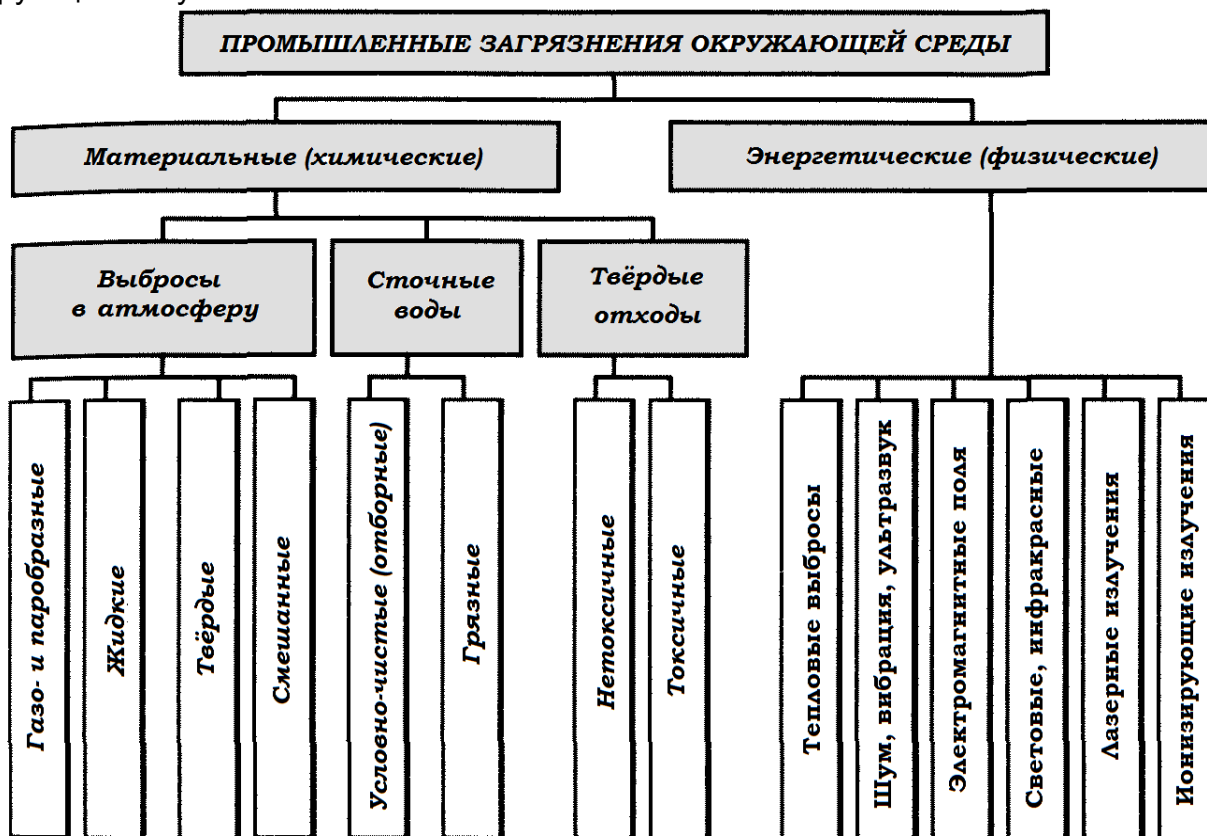


Рис. 2 – Классификация промышленных загрязнителей

**Техногенное загрязнение** – это увеличение объёма химических веществ определённой компоненты природной среды, а также привнесение в неё химических веществ в концентрациях, превышающих норму или ей не свойственных.

**Химические загрязнения** относятся к наиболее часто реализуемому виду загрязнений, производимых вследствие многообразной хозяйственной деятельности человека. Агенты химических загрязнений включают в себя широкий спектр химических соединений.



По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), таких соединений около 500 тыс., из которых около 40 тыс. – вредные вещества и около 12 тыс. – токсичные. В табл. 1 перечислены наиболее опасные химические загрязнители биосферы, оказывающие на нее наибольшее воздействие.

Таблица 1

*Основные химические загрязнители биосферы (ЮНЕСКО)*

<b>Химические вещества</b>	<b>Общая характеристика воздействия на биосферу</b>
Диоксид углерода	Образуется при сгорании всех видов топлива. Увеличение его содержания в атмосфере приводит к повышению её температуры, что чревато пагубными геохимическими и экологическими последствиями
Оксид углерода	Образуется при неполном сгорании топлива. Может нарушить тепловой баланс верхней атмосферы
Сернистый газ	Содержится в дымах промышленных предприятий. Вызывает обострение респираторных заболеваний, наносит вред растениям. Разъедает известняк и другие горные породы
Оксиды азота	Создают смог, вызывают респираторные заболевания и бронхит у новорожденных. Способствуют чрезмерному разрастанию водной растительности
Фосфаты	Содержатся в удобрениях. Являются главным загрязнителем поверхностных вод
Ртуть	Один из опасных загрязнителей пищевых продуктов, особенно морского происхождения. Накапливается в организме и поражает нервную систему
Свинец	Является добавкой при этилировании бензина. Действует на ферментные системы и обмен веществ в живых клетках
Нефть и нефтепродукты	Приводят к пагубным экологическим последствиям, вызывают гибель планктонных организмов, рыбы, морских птиц и млекопитающих
ДДТ и другие пестициды	Очень токсичны для ракообразных. Убивают рыбу и организмы, служащие кормом для рыб. Многие являются канцерогенами

Основные способы проникновения химических загрязнений в окружающую среду осуществляются в процессе выбросов вредных веществ в атмосферу, сбросах в поверхностные и подземные воды, размещении твёрдых отходов.

Характерная особенность химических загрязнений природной среды – это их способность проявляться в любых пространственных масштабах, в том числе и в глобальном.

Под **физическим загрязнением** понимается привнесение в окружающую природную среду источников энергии (тепла, радиоактивного излучения, шума, вибрации, физических полей и другого), приводящее к отклонениям от нормы физических свойств окружающей среды.

**Тепловое загрязнение.** Один из источников теплового загрязнения окружающей среды – это сжигание минерального топлива в производственных и бытовых целях. Кроме того, практически вся энергия, используемая на производстве и в быту во всех её видах (электрическая, механическая, световая и другие), в конечном счёте превращается в тепло.

Ежегодное количество тепла, выделяемого на земном шаре от различных источников, оценивается эквивалентом энергии в восемь млрд т сожжённого условного топлива. В связи с этой оценкой, необходимо отметить, что техногенный

сброс тепла становится соизмеримым с энергией глобальных геофизических процессов – землетрясений, тропических циклонов и приливных волн. Общее количество тепла, выделяемое в глобальном масштабе, показывает устойчивый рост и по некоторым данным увеличивается на несколько процентов в год. С ростом тепла, рассеиваемого в процессе техногенной деятельности человека, большую опасность представляет перспектива глобального потепления, вызывающая серьёзную озабоченность.

Среди локальных процессов, связанных со сбросом тепла, основные – это, например, охлаждение технологических вод в естественных и искусственных водных объектах (реках, озёрах, водоёмах-охладителях, брызгальных бассейнах) на тепловых (ТЭС) и атомных электростанциях (АЭС) и других предприятиях. В результате теплообмена в водоёмах-охладителях ТЭС и АЭС температура воды может повышаться до 10 °С и более в сравнении с её естественной температурой. Это обстоятельство приводит к усилению токсичности химических загрязнений, интенсивному росту водорослей и заилению водоёмов и водотоков. При использовании паро-конденсатных градирен для организации системы охлаждения возникает опасность затуманивания близлежащих территорий. Тепловые загрязнения в больших городах создают заметную техногенную составляющую микроклимата, негативно влияющую на здоровье населения и состояние флоры и фауны.

**Радиационное загрязнение** возникает в результате проникновения в окружающую среду разного рода радиоактивных веществ и возрастания радиационного фона в сравнении с естественным уровнем.

Распад ядер нестабильных элементов в радиоактивных веществах порождает ионизирующие частицы (альфа- и бета-частицы) и ионизирующее гамма-излучение. Последние обладают наибольшей проникающей способностью из всех продуктов радиоактивного распада.

Проблема радиационного загрязнения окружающей среды возникла в последней половине прошедшего столетия и связана с использованием атомной энергии, как в военных, так и в мирных целях. Радиационное загрязнение происходит в результате:

- обогащения урановых руд и получения радиоактивных изотопов;
- испытаний ядерного оружия;
- аварий на АЭС и исследовательских реакторах;
- утилизации и захоронения радиоактивных отходов.

В радиоэкологии используют следующие **единицы радиоактивности и радиационного поражения**:

- единицы радиоактивности (беккерель: 1 Бк = 1 распад в секунду, кюри: 1 Ки = 3,7 – 10<sup>10</sup> Бк);
- экспозиционную дозу (рентген: 1 Р = 2,58 • 10<sup>4</sup> Кл/кг);
- единицы поглощенной дозы (грей: 1 Гр = 1 Дж/кг, рад: 1 рад = 0,01 Гр);
- единицы эквивалентной дозы (зиверт: 1 Зв = 1 Гр для рентгеновского, гамма- и бета-излучений, 1 Зв = 0,05 Гр для альфа-излучения, бэр: 1 бэр = 0,01 Зв);
- поверхностную активность (Ки/м<sup>2</sup>);
- мощность экспозиционной дозы (Р/ч).

Главная опасность радиационного загрязнения состоит в его огромном разрушительном потенциале биологического поражения человека, фауны и флоры. При этом особые проблемы в ликвидации последствий радиационного заражения создает большой период полураспада многих изотопов, достигающий нескольких

сотен и тысяч лет.

Перенос радиоактивных веществ осуществляется воздушными потоками, поверхностными и подземными водами, а также трофическими цепями.

В атмосфере, в поверхностных и подземных водах, а также в почве радиоактивные изотопы могут находиться многие годы. При этом радиоизотопы мигрируют не только в одной среде, но и между разными средами. При загрязнении атмосферы изотопы выпадают на поверхность Земли и в поверхностные воды, просачиваются в почву и в подземные водоносные горизонты. В свою очередь, изотопы могут из подземных вод проникать в реки и водоёмы. Благодаря длительному нахождению в атмосфере и водной среде радиоактивные изотопы могут переноситься на большие расстояния.

Большая опасность радиационного заражения человека путём проникновения радиоактивных веществ в его организм в результате трофических цепей заключается в том, что живые организмы способны накапливать высокие концентрации изотопов по сравнению с концентрациями в среде их обитания. Например, в организмах рыб и птиц радиоактивного фосфора содержится в десятки раз больше, чем в окружающей их среде. По мере реализации трофических цепей на их высоких иерархических уровнях накапливаются большие количества радиоактивности.

Несмотря на кажущуюся серьёзную опасность радиационного заражения от объектов атомной энергетики и испытаний ядерного оружия, эти факторы обуславливают в среднем всего около одного процента от общей дозы радиационного поражения человека. Около 34 % общей дозы человек получает при медицинской диагностике и лечении, остальную – от природных источников: 22 % от естественного радиационного фона и 43 % от радона.

Радон – это инертный газ, образующийся в результате распада  $U_{235}$ ,  $Th_{232}$ ,  $Ra_{226}$ , происходящего в недрах Земли. Через трещины в грунтах радон поступает в атмосферу. В жилые и рабочие помещения газ проникает через фундаменты, полы и стены, где может накапливаться. Значительное количество радона также проникает вовнутрь зданий из строительных материалов. Выявлению источников радона и предупреждению заражения от него в России уделяется большое внимание. Для обеспечения безопасных условий проживания населения и организации безопасных условий труда в зданиях существующим законодательством предусматриваются специальные исследования радоноопасности зданий и территорий, подлежащих застройке.

**Шумовое (акустическое) загрязнение** относится к основным видам загрязнений в городских условиях. Шум связан с интенсивной работой транспорта, промышленных предприятий и строительством. На городской транспорт приходится около 80 % всех городских шумов. Уровнем шума в заданном диапазоне частот (октавной полосе частот), измеряемым в децибелах (дБ), называется величина, связанная с физической звуковой мощностью, воздействующей на человеческое ухо. Измеряемый с помощью шумометров уровень звука (шума) во всём слышимом человеком диапазоне частот, называемый **эквивалентным уровнем шума**, выражается в единицах, аналогичных дБ, с добавлением к ним буквы А, то есть дБА.

Безвредный для человека уровень шума изменяется в пределах 45–50 дБА, а болевой порог наступает при шумах в диапазоне от 100 до 140 дБА. Если шум природного происхождения (всплески волн, шорох листвы, пение птиц, шум ветра и пр.) комфортен для человека, то техногенный шум в большинстве случаев неприятен. В Москве на улицах уровень шума составляет в среднем около 85 дБА, а в

большинстве областных центров России – от 70 до 80 дБА.

На автомагистралях вблизи крупных городов уровень шума составляет около 90 дБА. Ещё выше уровни шума на железнодорожном транспорте (около 100–110 дБА) и в аэропортах (до 120 дБА). Некоторые данные об уровнях шума приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Уровни шума в бытовых и производственных условиях*

Источники шума	Уровни шума, дБА
Разговор шёпотом	10–20
Нормальная речь	50
Звуки средней интенсивности в квартире	40
Звуки в учреждении на главной улице при закрытых окнах	50–75
Работающий мотоцикл	65–105
Шум грузовика на расстоянии семи метров	85–100
Шум от четырёхмоторного поршневого самолета на высоте 50 – 100 м	90–100
Шум от пневматического молота на расстоянии пяти метров	120
Шум от двигателя реактивного самолёта на испытательном стенде	140 и выше

Наиболее вредны для здоровья человека шумовые воздействия в ночное время. Установлено, что влияние шума сказывается на понижении производительности труда, которое составляет в среднем около 20 %. Что касается творческих профессий, то для них результативность труда может быть сведена к нулю.

Специфическое воздействие на человека оказывает **инфразвук** – слышимые человеческим ухом звуковые волны с частотой ниже 16 Гц. В природе он возникает при землетрясениях, извержениях вулканов, во время бурь и при других явлениях. Техногенные источники инфразвука связаны с железнодорожным и воздушным транспортом, а также с некоторыми производствами.

**Вибрационное загрязнение** обусловлено всякого рода вибрациями – сложными колебательными процессами с широким диапазоном частот. Вибрации возникают в результате передачи переменного давления от механических источников. Они оказывают сильное воздействие на иммунную и сердечно-сосудистую системы, а также на состав крови.

**Электромагнитное загрязнение** – форма физического загрязнения, связанная с нарушением естественных электромагнитных полей в окружающей среде. Весь спектр электромагнитного излучения включает в себя разные виды излучений – от очень коротких волн до очень длинных. В порядке возрастания длин волн электромагнитные излучения можно ранжировать в следующем порядке: гамма-лучи, космические лучи, рентгеновские лучи, ультрафиолетовые лучи, световые лучи видимого диапазона, инфракрасные лучи, микроволновое излучение, радиоизлучение, излучение от линий электропередачи. Среди перечисленных видов излучений практически не оказывают существенного воздействия на окружающую среду космические, рентгеновские и инфракрасные лучи. Гамма-излучение из-за своей специфики обычно рассматривается как один из загрязнителей в числе факторов радиационного загрязнения.

Ультрафиолетовое излучение поступает на поверхность Земли от Солнца. Этот вид электромагнитного излучения особенно опасен в диапазоне длин волн 200–290 нм. Он характеризуется активным воздействием на нуклеиновые кислоты

и белки, приводящим к гибели клеток живых организмов.

Благодаря озону, содержащемуся в нижней стратосфере, происходит активное поглощение ультрафиолета и космического излучения. Хотя содержание озона в атмосфере невелико и его масса составляет порядка трёх миллиметров массы столба воздуха у поверхности Земли, тем не менее, роль озона в задерживании ультрафиолетового излучения трудно переоценить. Весьма вероятно, что без озонового слоя жизнь на Земле перестала бы существовать.

В 1980 – 1990 годы обозначилась проблема глобального снижения содержания стратосферного озона, особенно ярко выраженная в появлении «озоновых дыр» в приполюсных областях Земли. Одна группа исследователей объявила, что главная причина подобного явления связана с использованием некоторых видов фреонов (хлорсодержащих хладагентов) в холодильной технике. Другая группа ученых причину деградации озонового слоя выделяла в естественном вековом ходе геофизических характеристик Земли, влияющих на озоносферу. В связи с глобальным характером озоновой проблемы и преобладающей точкой зрения экспертов, поддерживающих точку зрения техногенной причины этой проблемы, в 1985 году в Вене была подписана Международная конвенция об охране озонового слоя, а в 1987 году – Монреальский протокол о мерах по защите озонового слоя.

В результате возник бум производства холодильной и морозильной техники на новых, не содержащих хлор хладагентах. Прибыль, полученная производителями новой холодильной и морозильной техники, оценивается во многие десятки миллиардов долларов. Однако начиная с конца 90 годов «озоновые дыры» стали затягиваться и озоносфера возвратилась к своему нормальному состоянию.

Повышенное внимание к влиянию микроволнового излучения на организм человека связано с тем обстоятельством, что объём микроволновой техники возрастает приблизительно на 15 % в год. Микроволновое излучение используют как средство передачи телевизионных и телефонных сообщений, в радарной технике, микроволновых печах и в прочем.

Исследователями разных стран была выявлена неоспоримая связь между мощностью источников микроволнового излучения и риском раковых заболеваний. В частности, британские специалисты обнаружили, что в пределах 500-метровой зоны вокруг телебашни Sutton Goldfield в Бирмингеме заболеваемость лейкемией почти в 10 раз выше, чем за пределами этой зоны. В США отмечены случаи отмены проектов строительства передающих телевизионных станций и радарных систем под давлением общественности. В мире продолжается острая дискуссия о возможной опасности использования мобильной телефонной связи.

Другая причина беспокойства, относящаяся к электромагнитным излучениям, касается **низкочастотных источников электромагнитных полей** (ЭМП). Это беспокойство вызвано появлением новых данных о негативном воздействии на людей ЭМП, возникающих от линий электропередачи (ЛЭП), производственных электроустановок, электродвигателей в городском и железнодорожном транспорте. Биологами был обнаружен эффект влияния ЭМП от ЛЭП на изоляцию насекомых, который заключается в том, что некоторые насекомые, избегая пересечения ЛЭП, навсегда оказываются изолированными на ограниченных территориях. Ещё один вид электромагнитного загрязнения – **световое загрязнение**, представляющее собой форму физического загрязнения, связанную с периодическим или продолжительным превышением уровня естественной освещённости местности за счёт использования источников искусственного освещения. Этот вид загрязнения

характерен для больших городов и индустриальных центров. Световое загрязнение самостоятельно либо в сочетании с другими видами загрязнений может приводить к аномалиям в развитии живых организмов и вынуждать их переселяться в другие места.

К прочим формам физического загрязнения окружающей среды можно отнести стационарные электрические и магнитные поля, влияние которых на организм человека изучено недостаточно. Тем не менее, имеются сведения о возникновении электрических полей и токов в тканях человека, воздействующих на нервные клетки. Отмечены случаи лейкемии у персонала, работающего с сильными стационарными магнитными полями.

**Механическое загрязнение** – засорение среды агентами, оказывающее механическое воздействие без видимых физических или химических воздействий. Примеры механического загрязнения: горные выработки, отвалы горных пород, терриконы, затопление территорий и прочее.

Огромные масштабы механическое загрязнение приобрело в районах добычи полезных ископаемых в результате горно-вскрышных работ на отчуждённых лесных и сельскохозяйственных угодьях. Естественные ландшафты таких районов нарушаются разработкой глубоких и протяжённых карьеров, а также созданием отвалов горных пород. Отработанные карьеры заполняются водой, в основном образуя безжизненные водоёмы.

Большие пространства страны в результате водохозяйственной деятельности (строительства плотин, изменения рельефа) затоплены. Общая площадь затопленных территорий России превышает площади крупных европейских государств. Безвозвратно потерянными оказались колоссальные лесные и земельные ресурсы, памятники исторического и культурного наследия.

**Биологическое загрязнение** – привнесение в экосистемы в результате антропогенного воздействия нехарактерных для них видов живых организмов, ухудшающих условия существования естественных биотических сообществ или негативно влияющих на здоровье человека. Близкое к биологическому загрязнению биотическое, то есть распространение определённых, как правило, нежелательных, с точки зрения людей, биотических веществ (выделений, мёртвых тел и прочего) на территориях, где они ранее не наблюдались.

Примеры биологического загрязнения:

- интенсивный рост сине-зелёных водорослей в водоёмах-охладителях, возникающий в результате теплового загрязнения вод;
- загрязнение окружающей среды медицинскими отходами;
- размножение в городских условиях паразитических видов животных (крыс, мышей, бродячих кошек и собак, птиц, комаров, тараканов, клопов, блох и другого);
- эпидемии, эпизоотии, эпифитотии.

Значительную роль в биологическом загрязнении природной среды играют сточные воды предприятий пищевой и кожевенной промышленности, бытовые и промышленные свалки, кладбища, канализационная сеть, поля орошения и другое. Из них разнообразные органические соединения и патогенные микроорганизмы попадают в почву, горные породы, поверхностные и подземные воды. Обычно патогенные микробы обнаруживаются в подземных водах на глубинах до 300 м от поверхности земли. В связи с возросшей в последние десятилетия миграцией населения отмечается устойчивая тенденция роста числа инфекционных заболеваний. Серьёзную озабоченность вызывает использование в пищевой промышленности

генномодифицированных продуктов.

**Информационное загрязнение** – это любая информация, прямо или косвенно противоречащая положениям природоохранного законодательства, а также наносящая ущерб природе и рациональному природопользованию.

Можно расширить понятие информационного загрязнения, включив в него негативные потоки информации СМИ, характеризующиеся агрессивностью и недостоверностью. К информационному загрязнению уместно также отнести потоки негативной информации, передаваемой по компьютерным сетям, включая вирусные программы и спам.

В результате техногенной деятельности в среде обитания человека произошло **ухудшение визуальной среды**, являющейся одной из важных компонентов жизни человека. Антропогенное изменение ландшафтов, как и любой тип антропогенного воздействия на природную среду, может быть деструктивным, стабилизирующим либо конструктивным. Деструктивное изменение ландшафта, в том числе и городского, ощущается человеком на визуальном уровне. В связи с этим обстоятельством в последние годы возникло понятие визуального загрязнения ландшафта, понимаемого как ухудшение его эстетических свойств.

Визуальное загрязнение характерно для крупных городов, производственных помещений, транспортной инфраструктуры. Загрязнителями визуальной среды являются гомогенные и агрессивные визуальные поля, а также избыток прямых линий, углов и больших плоскостей. Визуальная среда для жителей городов связана также с условиями их труда. Люди работают в замкнутом пространстве – в помещениях промышленных предприятий, офисных помещениях, обучаются в зданиях учебных заведений. Для их интерьеров характерно наличие строительных материалов не природного происхождения – пластика, линолеума, кафеля, алюминия, стекла, решёток и прочего. Те же строительные материалы формируют визуальную среду и жилых помещений. Свой негативный вклад в формирование визуальной среды вносят просмотр телевизора, работа с компьютером, экраны которых зачастую заполнены негативными визуальными полями. Негативную визуальную среду формирует также осветительная техника, например, лампы дневного света. Перечисленные факторы составляют неблагоприятную среду для человека и приводят к росту числа психических и глазных заболеваний.

Для изучения проблем, связанных с воздействием факторов визуальной среды на человека, в последние десятилетия сформировалось новое научное направление – видеоэкология, изучающее взаимодействие человека с окружающей визуальной средой.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Сформулируйте основные виды загрязнений окружающей среды.
2. Укажите причины природных загрязнений (без участия человека).
3. Какие существуют техногенные загрязнения?
4. В чём состоит опасность шумового, вибрационного, электромагнитного и информационного загрязнений?
5. В чём сущность специфического вида загрязнений – визуального?

## РАЗДЕЛ 2. ВЛИЯНИЕ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

---

В последние два десятилетия в России произошёл серьёзный спад промышленного производства. Несмотря на это обстоятельство, объёмы производства всё ещё остаются значительными, и поэтому имеется значительный потенциал загрязнения окружающей природной среды. Масштабному загрязнению природной среды способствует также крайне низкий объём инвестиций в природоохранные мероприятия, а также в технологии очистки выбросов, сбросов, складирования и утилизации твёрдых отходов.

Приведенная ниже характеристика основана на данных ежегодно публикуемых Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». Отрасли народного хозяйства выделяются в ежегодных докладах согласно Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности (ОКВЭД):

- добыча полезных ископаемых;
- обрабатывающие производства;
- производство и распределение электроэнергии, газа и воды;
- сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство;
- транспорт и связь;
- предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг.

Кроме того, в ежегодных докладах отражается вклад в загрязнение окружающей среды Вооруженных Сил и ракетно-космической техники. При подготовке докладов используются данные заинтересованных министерств и ведомств Российской Федерации. Количественные показатели видов экономической деятельности и антропогенных нагрузок на природную среду приведены по состоянию на конец 2008 года.

### **ДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Данная группа отраслей включает предприятия по добыче полезных ископаемых, встречающихся в природе в виде твёрдых пород (уголь и руда), в жидком (нефть) или в газообразном состоянии (природный газ). Добыча полезных ископаемых может осуществляться способами подземной и открытой разработки месторождений, а также путём эксплуатации скважин. В данную группу отраслей входят также предприятия, занимающиеся подготовкой сырья к реализации (например, дроблением угля и разделением его по крупности, обезвоживанием и обессоливанием нефти).

**Добыча природного газа и газового конденсата.** Добыча горючего природного газа в 2008 году увеличилась по сравнению с предшествующим годом на 1,7 % и составила 664 млрд м<sup>3</sup> из них предприятиями ОАО «Газпром» – 549,7 млрд м<sup>3</sup>. При этом выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников дочерних компаний ОАО «Газпром» увеличились на 5,2 % по сравнению с 2007 годом и составили 2624,7 тыс. т (38 % от разрешенных объёмов выбросов). На долю основных, характерных для газовой отрасли загрязняющих веществ приходится около 99 % выбросов, в том числе метана – 62,2, оксида углерода – 25,4, оксидов азота – 7,8 %.

Объём водопотребления в 2008 году практически сохранился на уровне 2007



года. Наряду с этим объём воды, использованной на производственные нужды в дочерних обществах ОАО «Газпром», снизился на 13,5 %. Причина этого – в более рациональном использовании водных ресурсов. В частности, были введены в эксплуатацию очистные сооружения общей мощностью 795,1 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Более чем вдвое сократился объём сточных вод, отводимых в поверхностные водные объекты. При этом доля загрязнённых стоков уменьшилась в 2,6, а объём стоков, сбрасываемых без очистки, сократился в шесть раз и составил 139,0 тыс. м<sup>3</sup>.

За 2008 год в дочерних обществах ОАО «Газпром» образовалось 267,5 тыс. т отходов производства, что на 17 % меньше, чем в 2007 году. Площадь рекультивированных земель в 2008 году составила 7854,3 га, из которых возвращено в сельскохозяйственный оборот около 70 %.

**Добыча нефти и нефтяного попутного газа, нефтепереработка.** Загрязнение и нарушение окружающей среды предприятиями нефтедобывающей промышленности тесно связано со следующими воздействиями:

- изъятием земельных ресурсов, нарушением земель и их загрязнением;
- выбросом загрязняющих веществ в атмосферу, их сбросом в поверхностные и подземные воды и на земную поверхность;
- извлечением наряду с нефтью высокоминерализованных вод;
- захоронением отходов бурения скважин;
- аварийными разливами нефти.

В наибольшей степени в процессе добычи нефти загрязняется воздушный бассейн. Ежегодно в атмосферу выбрасывается около 1333,5 тыс. т загрязняющих веществ. Основные загрязнители (в %): углеводороды – 47, окись углерода – 32, твёрдые вещества – 20. В последние годы наблюдается устойчивая тенденция роста объёмов утилизации попутного нефтяного газа, значительная часть которого все ещё сжигается на нефтяных месторождениях. Тем не менее, в отрасли планируется довести уровень утилизации попутного нефтяного газа до 95 %, что будет способствовать сокращению выбросов вредных веществ в атмосферу.

В 2008 году объёмы использования воды на производственные нужды в целом по отрасли возросли на 4,9 % и составили 430 млн м<sup>3</sup>. Рост водопотребления связан с вводом в действие новых объектов и с увеличением объёмов воды, используемой для поддержания пластового давления.

Объём сброса загрязнённых сточных вод в водные объекты в нефтедобыче в 2008 году снизился на 11 % по сравнению с предыдущим годом и составил 1267 млн м<sup>3</sup>. Это обусловлено реализацией компаниями комплекса мер по охране водных ресурсов, в частности строительством водоочистных сооружений, объектов водоохранного значения, а также использованием компаниями сточных вод с целью поддержания пластового давления.

Ежегодно на предприятиях нефтедобычи складывается свыше пяти млн т отходов. Колоссальный ущерб окружающей среде наносится в результате изъятия земель, нарушения геологической среды, аварий на буровых установках, нефтяных платформах и трубопроводах.

**Добыча угля.** Угледобывающая отрасль осуществляет свою деятельность для следующих потребителей угля (в %): электроэнергетики (41), промышленности и коммунально-бытового сектора (29), коксохимических предприятий (15), населения (9), сельского хозяйства (6). Добываемый уголь содержит разнообразные примеси – глину, обломки горных пород, золы и другие компоненты. Добыча угля производится более чем на 200 шахтах и 60 разрезах. Основные источники загрязнения воздушного бассейна при традиционных способах добычи угля – это горячие отвалы, угольные шахты, осуществляющие выбросы попутно извлекаемого метана.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу включают в себя, главным об-

разом, твёрдые вещества, оксиды углерода и азота и диоксид серы. В 2008 году по сравнению с 2007 годом валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу увеличились на 5,1 % и составили 1117,3 тыс. т. Наибольшее количество выбрасываемых загрязняющих веществ относится к предприятиям Кузнецкого и Печорского угольных бассейнов – 800,9 и 218,0 тыс. т, соответственно.

Крупными загрязнителями воздуха в отрасли являются: ОАО «ОУК «Южкузбассуголь», Ленининск-Кузнецкий филиал ОАО «СУЭК», ЗАО «Распадская угольная компания», ОАО «Дальневосточная генерирующая компания филиал «ЛуТЭК», ООО УпрК «Прокопьевскуголь». Наибольшие удельные выбросы в атмосферу остаются в Печорском бассейне – 16,7 кг/т добычи (в среднем по угольной отрасли 3,4 кг/т), где все шахты обладают высокой метаноносностью. Наряду с этим на ряде угледобывающих предприятий произошло небольшое снижение выбросов твёрдых веществ, диоксида серы, оксидов углерода и азота, что связано с переводом котельных с твёрдого топлива на газ.

В 2008 году изменение основных показателей, характеризующих вредное воздействие хозяйствующих субъектов отрасли на водные объекты, было связано с увеличением объёма добычи угля, реконструкцией предприятий, а также с изменением притока подземных вод при проведении горных работ. Объём использованной воды по отрасли в 2008 году по сравнению с 2007 годом уменьшился на 14,0 млн м<sup>3</sup> (на 12,2 %) и составил 100,4 млн м<sup>3</sup>. Наибольший объём использования воды (в %) приходится на предприятия Кузнецкого (68,8) и Печорского (9,2) угольных бассейнов.

Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты составляет около 500 млн м<sup>3</sup> (1,51 м<sup>3</sup>/т добычи), из них 46,6 % – доля предприятий Кузнецкого угольного бассейна и 14,0 % – предприятий Дальнего Востока. Для отрасли характерен низкий уровень очистки сточных вод до соответствующих нормативов, который составляет 5,8 %. Со сточными водами в поверхностные воды поступают хлориды, сульфаты, нефтепродукты, соединения железа, меди, никеля, алюминия, кобальта, магния, марганца и другие примеси.

С повышением доли открытого способа в общем объёме добычи угля и ростом коэффициента вскрыши увеличивается удельный объём отходов производства. Значительная часть отходов традиционно использовалась для заполнения выработанного пространства разрезов, частично для засыпки провалов и лишь небольшая часть – в строительстве и производстве строительных материалов. Неиспользуемые отходы размещены во внешних отвалах, которые занимают значительные территории и являются источниками негативного воздействия на окружающую среду, опасность которых многократно возрастает в случае их самовозгорания.

В 2008 году в отрасли образовалось 1896,3 млн т отходов всех классов опасности, из них III класса – 63,2 т. Отходы IV класса составляют 98,0 % от общего количества отходов. Самыми крупными отходообразующими хозяйствующими субъектами (в млн т в год) являются ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» – 711,2, ОАО «УК «Южный Кузбасс» – 200,8, ЗАО «Черниговец» – 106,3. В целом по отрасли используется около 55 % отходов. Объём природоохранных инвестиций в отрасли по добыче полезных ископаемых в 2008 году составил. 24,0 млрд. руб.

## ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВА

К основным отраслям обрабатывающих производств относятся:

- металлургическое производство;
- производство кокса и нефтепродуктов;
- химическое производство;
- производство машин и оборудования;
- обработка древесины и производство изделий из дерева;
- целлюлозно-бумажная промышленность;
- производство прочих неметаллических минеральных продуктов.

Оценивая динамику изменения показателей воздействия обрабатывающих производств на окружающую среду в последние годы, можно отметить следующие тенденции:

1. Снижение выбросов в атмосферный воздух (примерно на 5 % в год);
2. Снижение объёмов водопотребления и сброса сточных вод, в том числе загрязнённых, в поверхностные водные объекты;
3. Уменьшение объёмов образования отходов и, соответственно, процента их использования и обезвреживания.

Природоохранные инвестиции (в %) изначально направлены на реализацию мероприятий по охране атмосферного воздуха (56) и водных ресурсов (33).

В районах размещения предприятий обрабатывающих отраслей отмечаются систематические превышения нормативных уровней загрязнения воздуха, в том числе ингредиентами высокого класса опасности. Визуальный анализ аэрокосмических снимков снежного покрова показывает, что влияние предприятий сказывается на расстоянии в десятки километров. В последние годы количество выбросов заметно уменьшилось благодаря организации природоохранных мероприятий на предприятиях металлургии, химического производства, производства нефтепродуктов. Для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности характерен сброс больших объёмов загрязнённых вод.

Объём природоохранных инвестиций в обрабатывающие производства в 2008 году составил 33,9 млрд рублей. **Черная металлургия** загрязняет воздушный бассейн городов оксидом углерода (67,5% суммарного выброса), твердыми веществами (15,5 %), сернистым ангидридом (более 10 %), оксидами азота (5,5 %). В местах размещения металлургических комбинатов среднегодовая концентрация сероуглерода превышают пять, а бензапирена — 13 ПДК. В России на отрасль приходится 15 % общего объёма выбросов всей промышленности. Основными источниками выбросов черной металлургии в атмосферу служат агломерационное производство (агломерационные машины, дробильно-размольное оборудование, места разгрузки и пересыпки материалов), доменные и мартеновские печи, травильные печи, ваграночные печи чугунолитейных цехов и другое.

Предприятия отрасли потребляют и сбрасывают большие объёмы воды и сточных вод. Сточные воды содержат взвешенные вещества, нефтепродукты, растворенные соли (сульфаты, хлориды, соединения железа и тяжёлые металлы). Они могут приводить к полной деградации небольших водотоков, в которые они поступают, а золошлакоотвалы и хвостохранилища, вследствие фильтрации, загрязняют подземные воды. В результате образуются антропогенные геохимические аномалии с содержанием токсичных веществ, в сотни раз превышающим ПДК (Новолипецкий металлургический комбинат).

**Цветная металлургия** – это весьма эколого-опасная отрасль, выбрасывающая в окружающую среду наиболее ядовитые поллютанты, такие, например, как свинец (75% выбросов всей промышленности России) и ртуть (35%). Деятельность

цветной металлургии часто приводит к превращению территорий, где расположены её предприятия, в зоны экологического бедствия (г. Карабаш на Южном Урале, г. Оленегорск в Мурманской области и другие). Вредные выбросы предприятий, являясь сильными биологическими ядами и накапливаясь в почве и водоёмах, создают реальную угрозу всему живому, включая человека, а тяжёлые металлы с 25-кратным превышением ПДК обнаруживаются в грибах, ягодах и других растениях на расстоянии до 20 км от завода.

## **ПРОИЗВОДСТВО И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ГАЗА И ВОДЫ**

Группа рассматриваемых отраслей включает электроэнергетику, наиболее интенсивно загрязняющую природную среду. При этом доля выработки электроэнергии на тепловых электростанциях в её общем производстве в стране весьма значительна и составляет около 68 %. Наибольший ущерб для природной среды оказывают тепловые электростанции, работающие на сжигании угля. Помимо интенсивного загрязнения атмосферного воздуха для таких станций характерны большие объёмы золошлаковых отходов, складироваемых на золошлакоотвалах.

Объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух по рассматриваемой группе отраслей в течение 2008 года возрос на шесть процентов. Это обстоятельство связано с заменой топлива на ряде тепловых электростанций в пользу угля. Уровень улавливания и обезвреживания вредных веществ стабильно высок (от 84 до 85 %) и выше среднего значения по стране (75 %). Объём сточных вод имеет тенденцию к снижению, количество отходов и уровень их обезвреживания остаются на стабильно высоком уровне. Такая экономическая деятельность характеризуется ростом природоохранных инвестиций, более 90 % которых расходуются на мероприятия по охране водных объектов.

В 2008 году был реализован ряд мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ на нескольких тепловых электростанциях. В частности, выполнены ремонт и реконструкция газоочистительного оборудования, продолжено внедрение технологий по снижению выбросов оксидов азота, внедрены малотоксичные горелки на котлах. В результате увеличения выработки электроэнергии и тепла возрос объём забора воды, который составил почти один млрд м<sup>3</sup>. Но, в результате водоохраных мероприятий сброс загрязнённых сточных вод сократился на 80 млн м<sup>3</sup> (на 10,3 %). С целью более эффективного использования воды и уменьшения объёмов сброса сточных вод в 2008 году был проведён ряд мероприятий, в частности на ряде станций выполнены ремонт и реконструкция очистных и гидротехнических сооружений.

Объём природоохранных инвестиций в отрасли, производящие и распределяющие электроэнергию, газ и воду, в 2008 году составил 20,9 млрд рублей.

## **СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, ОХОТА И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО**

Этот вид экономической деятельности по сравнению с рассмотренными выше характеризуется относительно невысокими объёмами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросом загрязнённых сточных вод, образованием отходов. В последние годы объёмы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух колеблются в диапазоне от 120 до 130 тыс. т, а степень улавливания и обезвреживания вредных веществ – на уровне 21–22 %. В структуре водоотведения преобладают нормативно чистые сточные воды. При этом за 2006–2008 годы объём загрязнённых сточных вод снизился на девять процентов, а общий объём сброса сточных

вод в поверхностные водные объекты – на 18 %. Менее благополучна ситуация с отходами, объём которых в последние годы возрастает при уменьшении уровня утилизации и обезвреживания.

В последние годы приоритеты инвестирования в природоохранные мероприятия изменились в пользу охраны и рационального использования лесных и земельных ресурсов.

## **ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ**

Группа отраслей транспорта и связи включает следующие виды экономической деятельности:

- сухопутный транспорт (железнодорожный, автомобильный и общественный);
- водный транспорт (морской, речной);
- воздушный транспорт;
- космический транспорт;
- трубопроводный транспорт, для транспортирования нефти и газа;
- связь (почтовая, электросвязь, теле- и радиовещание);
- инфраструктура и вспомогательная деятельность.

К основным источникам комплексного негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения относится автомобильный транспорт. На его долю приходится около 38 % общего антропогенного загрязнения атмосферного воздуха, более 90 % объёма вредных выбросов от транспортного комплекса.

Автомобильный транспорт является также основным источником шумового загрязнения городов, причиной отчуждения и деградации земель, используемых для дорожного строительства, стоянки и хранения автомобилей, загрязнения окружающей среды отходами транспортной деятельности. Быстрый рост парка легкового транспорта приводит к обострению негативных процессов, сопутствующих автомобилизации населения. Это особенно проявляется в крупных городах, где транспортная инфраструктура проектировалась с расчётом на 170–180 автомобилей на 1000 жителей, в то время как уже к 2009 году средний уровень автомобилизации в стране достиг 270 автомобилей на 1000 жителей. В крупнейших городах России этот показатель значительно выше, например, в Москве и Санкт-Петербурге он составляет около 340 автомобилей на 1000 жителей. При таком уровне автомобилизации, в сочетании с одной из самых низких в мире плотностью городской улично-дорожной сети, автомобильные заторы стали обычными во многих городах. Перегруженность же улично-дорожных сетей напрямую влияет на экологическую ситуацию в городах, ведёт к существенному росту потребления топлива автотранспортом и, как следствие, увеличению вредных выбросов.

По предприятиям отрасли отмечен значительный рост объёма выбросов вредных веществ в атмосферу. Так, только за 2006–2008 годы объём выбросов возрос на 15,1 % к уровню 2005 года. При этом показатель улавливания и обезвреживания вредных веществ – наименьший среди других видов экономической деятельности. Наряду с этим сброс загрязнённых сточных вод в поверхностные водные объекты имеет тенденцию к снижению (почти на девять процентов в год). Заметно возрастает количество отходов, объём их утилизации и обезвреживания.

## **ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ПРОЧИХ КОММУНАЛЬНЫХ, СОЦИАЛЬНЫХ И ПЕРСОНАЛЬНЫХ УСЛУГ**

В 2008 году был отмечен рост объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух на 23 % по отношению к 2007 году при уменьшении уровня улавливания и обезвреживания вредных веществ до 29 %. Для этой деятельности характерна тенденция роста объемов сброса загрязненных сточных вод. Отмечается снижение объема образования отходов, однако процент их использования и обезвреживания остается крайне низким. Объем природоохранных инвестиций в 2008 году – 3,4 млрд руб, что более чем вдвое выше уровня 2007 года. Приоритетным направлением инвестирования является строительство предприятий и полигонов для утилизации, обезвреживания и захоронения отходов.

## **ВООРУЖЁННЫЕ СИЛЫ**

Сами по себе Вооруженные силы непосредственно значительного воздействия на окружающую среду не оказывают. Тем не менее, они играют особую роль в системе экологической безопасности страны в связи со следующими обстоятельствами:

- принципиальной невозможностью создания оружия, которое не могло бы оказывать негативных воздействий на окружающую среду;
- колоссальным потенциалом экологической опасности вооружений, особенно оружия массового уничтожения;
- неизбежным загрязнением окружающей среды при утилизации и уничтожении вооружений;
- отчуждением больших территорий для размещения войск и военных объектов, организации военной инфраструктуры и прочим.

Экологическое состояние природной среды в районах дислокации объектов Вооруженных сил России характеризуется как стабильное, и по некоторым показателям отмечается его положительная динамика. Так, в 2008 году, по сравнению с 2007 годом, отмечается снижение количества выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду. Наряду с этим проблемы обеспечения экологической безопасности военной деятельности сохраняют актуальность. Недостаточное финансирование природоохранных мероприятий не позволяет должным образом решить задачу снижения негативного воздействия на окружающую среду.

В целом военные объекты не оказывают значительного по масштабам и уровню негативного воздействия на окружающую среду. Их вклад в её загрязнение составляет: 0,65 % от совокупного объема выбросов в целом по стране; 0,6 % от всех сбросов загрязнённых сточных вод в поверхностные водные объекты.

## **РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА**

Основными факторами негативного воздействия, оказываемого в процессе осуществления ракетно-космической деятельности на земную поверхность, поверхностные и грунтовые воды, растительность, живые организмы, приземную атмосферу, озоновый слой, ионосферу и околоземное космическое пространство, служат:

- загрязнение отдельных участков почвы, поверхностных и грунтовых вод в результате проливов компонентов ракетных топлив при падении отработавших ступеней ракет-носителей с неиспользованными остатками этих компонентов в штатных районах падения или в случаях аварийных пусков ракет;
- локальное засорение территорий отведенных районов падения фрагмен-

тами металлоконструкций отработавших ступеней ракетносителей;

- незначительные механические повреждения элементов ландшафта при падении отработавших ступеней ракетносителей и их эвакуации из районов падения;
- локальное и непродолжительное воздействие на атмосферный воздух на озоновый слой в результате сгорания топлива при полете ракетносителей;
- засорение околоземного космического пространства продуктами космической деятельности техногенного происхождения (космическим мусором).

Суммарное количество загрязняющих веществ в виде газообразных и конденсированных компонентов, поступивших в атмосферу в результате проведения в 2008 году 27 пусков ракетносителей, составило 4872,4 т, что не превышает доли процента от общих выбросов, произведенных в 2008 году объектами промышленности, теплоэнергетики и транспорта, расположенными в регионах осуществления ракетно-космической деятельности.

Важной составляющей обеспечения экологической безопасности в районах, подверженных влиянию ракетно-космической деятельности, является экологическое сопровождение пусков ракетносителей. Экологическое сопровождение производящихся сейчас пусков ракетносителей обеспечивается Космическими войсками и научными организациями с привлечением соответствующих федеральных и региональных учреждений и специализированных служб.

### **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЁМОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ПО ВИДАМ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

В табл. 3 приведено распределение объёмов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов загрязнённых сточных вод в поверхностные водные объекты и производства отходов по видам экономической деятельности (на конец 2008 года). По представленным данным хорошо отмечается широкий диапазон уровней воздействий на природную среду различных видов экономической деятельности. Учитывая, что на здоровье человека наибольшее воздействие оказывает качество атмосферного воздуха, можно построить следующий **ранжированный перечень видов экономической деятельности по их ответственности за загрязнение окружающей среды:**

- обрабатывающие производства;
- добыча полезных ископаемых;
- производство и распределение электроэнергии, газа и воды;
- транспорт и связь;
- сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство;
- предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных видов услуг.

Поскольку степень экологической опасности того или иного вида экономической деятельности по типу загрязнений (выбросам, сбросам, отходам) разная, указанная выше последовательность отчасти носит субъективный характер. Однако такая последовательность вполне отражает индивидуальную роль видов экономической деятельности в загрязнении окружающей среды в масштабе страны с точки зрения негативного воздействия загрязнений на человека.

Таблица 3

*Распределение объёмов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов загрязнённых сточных вод в поверхностные водные объекты и производства отходов по видам экономической деятельности (на конец 2008 г.)*

Вид экономической деятельности	Объёмы загрязнений природной среды		
	выбросы, тыс. т	сбросы, млн м <sup>3</sup>	отходы, млн т
Добыча полезных ископаемых	5567,2	1083,9	3351,1
Обрабатывающие производства	6829,4	3269,9	276,6
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	4462,2	9059,9	67,6
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	124,8	1037,7	67,7
Транспорт и связь	2475,2	83,8	3,2
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	67,9	2050,1	4,7
Всего по Российской Федерации	20 103,3	17 119,5	3817,7

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие отрасли добывающей промышленности характеризуются наиболее значительными загрязнениями и нарушениями природной среды?
2. Можно ли считать объём инвестиций, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в России, приемлемым (и почему)?
3. Какие существуют негативные последствия проведения ракетно-космической деятельности?
4. В чём заключаются основные опасности взаимодействия Вооружённых сил с окружающей средой?
5. Перечислите основные приоритетные направления инвестирования в природоохранные мероприятия по промышленным отраслям.
6. Назовите виды экономической деятельности, наиболее ответственные за загрязнение окружающей среды.



## РАЗДЕЛ 3. ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

### ОСНОВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ПРИЗЕМНЫЕ СЛОИ АТМОСФЕРЫ

Антропогенные загрязнения отличаются многообразием видов примесей и многочисленностью источников их выброса. Наиболее устойчивые зоны с повышенными концентрациями загрязнений возникают в местах активной жизнедеятельности человека. Установлено, что каждые 10 – 12 лет объём мирового промышленного производства удваивается, а это сопровождается примерно таким же ростом объёма выбрасываемых загрязнений в окружающую среду. По ряду загрязнений темпы роста их выбросов значительно выше средних. К таковым относятся аэрозоли тяжелых и редких металлов, синтетические соединения, не существующие и не образующиеся в природе, радиоактивные, бактериологические и другие загрязнения.

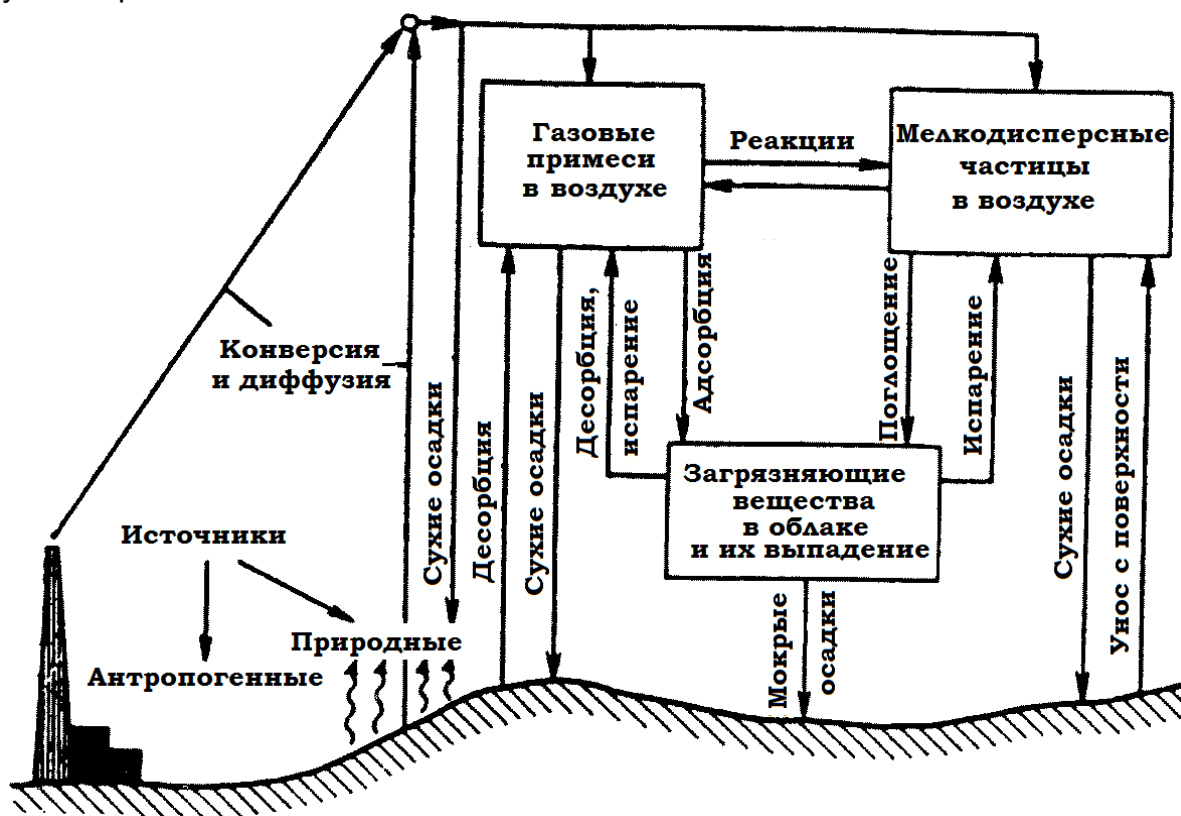


Рис. 3 – Схема процессов выбросов веществ в атмосферу и трансформации исходных веществ в продукты с последующим выпадением их в виде осадков

Примеси поступают в атмосферу в виде газов, паров, жидких и твёрдых частиц. Газы и пары образуют с воздухом смеси, а жидкие и твёрдые частицы – аэрозоли (дисперсные системы), которые подразделяют на пыль (размеры частиц более одного мкм), дым (размеры твёрдых частиц менее одного мкм) и туман (размер жидких частиц менее 10 мкм). Пыль, в свою очередь, может быть крупнодисперсной (размер частиц более 50 мкм), средне-дисперсной (50 – 10 мкм) и мелкодисперсной (менее 10 мкм).

В зависимости от размера жидкие частицы подразделяются на (в мкм): су- пертонкий туман (до 0,5), тонкодисперсный туман (от 0,5 до 3,0), грубодисперсный туман (от 3 до 10) и брызги (свыше 10). Следует отметить, что аэрозоли чаще по- лидисперсные, то есть содержат частицы различного размера.

Основными химическими примесями, загрязняющими атмосферу, являются следующие вещества.

**Оксид углерода (СО)** – бесцветный газ, не имеющий запаха, известен также под названием «угарный газ». Образуется в результате неполного сгорания иско- паемого топлива (угля, газа или нефти) в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре. При этом (в %) 65 от всех выбросов приходится на транспорт, 21 – на мелких потребителей и бытовой сектор, а 14 – на промышленность. При вдыхании угарный газ за счёт имеющейся в его молекуле тройной связи ( $C\equiv O$ ) об- разует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь. Это вызывает головные боли, тошноту, а при более высокой концентрации смерть.

Максимальная разовая ПДК СО – пять, а среднесуточная – три  $мг/м^3$ . При 14  $мг/м^3$  возрастает вероятность смерти от инфаркта миокарда. Столь экстремальные концентрации часто наблюдаются в районах с повышенной антропогенной нагруз- кой на окружающую среду: в часы пик на транспорте или при инверсиях (в услови- ях слабого воздушного обмена), благоприятствующих возникновению смога. Уменьшение выбросов угарного газа достигается путём дожигания отходящих га- зов и использования альтернативных источников топлива.

**Диоксид углерода (СО<sub>2</sub>)**, или углекислый газ, – это бесцветный газ с кисло- ватым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода и служит одним из парниковых газов.

**Диоксид серы (SO<sub>2</sub>)** (сернистый ангидрид) – бесцветный газ с резким запа- хом. Образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Он в первую очередь участвует в формировании кислотных дождей. Общемировой выброс SO<sub>2</sub> оцени- вается в 190 млн т в год. Концентрация диоксида серы особенно велика в районах, где расположены крупные тепловые станции, металлургические и горно- обогатительные заводы. Максимальная разовая ПДК для диоксида серы составля- ет 0,50, а среднесуточная – 0,05  $мг/м^3$ .

Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит, в начале, к потере вкусовых ощущений, стеснённому дыханию, а, затем, – к воспалению или отёку легких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания. Растения гораздо чувствительнее к воздействию диоксида се- ры, чем человек. Листовые пластинки растений, произрастающих на расстоянии менее одного километра от предприятий, выбрасывающих диоксид серы, обычно густо усеяны мелкими некротическими пятнами, образовавшимися в местах оседа- ния капель серной кислоты.

**Оксиды азота (оксид и диоксид азота)** – газообразные вещества: моно- оксид азота NO и диоксид азота NO<sub>2</sub> объединяются общей формулой NO<sub>x</sub>. При всех процессах горения образуются оксиды азота, причём большей частью в виде оксида. Оксид азота достаточно быстро окисляется до диоксида, который пред- ставляет собой красно-белый газ с неприятным запахом, сильно действующий на слизистые оболочки человека. Чем выше температура сгорания, тем интенсивнее идёт образование оксидов азота.

Другим источником оксидов азота служат предприятия, производящие азот- ные удобрения, азотную кислоту и нитраты, анилиновые красители, нитро- соединения, вязкозный шёлк, целлулоид. Количество оксидов азота, поступающих в атмосферу, составляет 65 млн т в год. От общего количества выбрасываемых в

атмосферу  $\text{NO}_x$  (в %) на транспорт приходится 55, на энергетику – 28, на промышленные предприятия – 14, на мелких потребителей и бытовой сектор – три.

В летний период при интенсивном солнечном облучении продолжительностью от 12 до 14 часов вследствие высокой растворимости в воде (облака или дождь) и сорбции на увлажнённых поверхностях азотная кислота быстро выпадает на земную поверхность. В городах наиболее высокие концентрации оксидов азота наблюдаются утром, до начала фотохимических процессов. При ярком солнечном свете оксиды азота реагируют с несгоревшими парами бензина и другими углеводородами, образуя низкоатмосферный озон, или смог, то есть красно-бурую дымку.

Максимальная разовая ПДК диоксида азота (в  $\text{мг/м}^3$ ) составляет 0,085, а среднесуточная – 0,040. При концентрациях свыше 0,15  $\text{мг/м}^3$  возникают острые заболевания органов дыхания. При остром отравлении диоксидом азота может развиваться отёк легких. Признаками хронического отравления служат головные боли, бессонница и раздражение слизистых оболочек.

**Озон ( $\text{O}_3$ )** – это газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений (ЛОС). Поскольку к ЛОС относят порядка 260 химических соединений, при образовании озона получаются смеси, состоящие из сотен химических веществ и называемые фотохимическим «смогом». Наиболее высокие концентрации озона наблюдаются в промышленных районах. Но, поскольку эмиссии диоксида азота и ЛОС участились даже в сельской местности, то и здесь зафиксированы повышенные концентрации озона. Озон относят к первому классу опасности, при этом максимально разовая ПДК (в  $\text{мг/м}^3$ ) составляет 0,16, а среднесуточная – 0,03.

**Углеводороды** – химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и других. Многие углеводороды опасны сами по себе. Например, бензол, компонент бензина, может вызвать лейкемию, а гексан – тяжёлые поражения нервной системы человека. Бутадиен является сильным канцерогеном.

**Свинец (Pb)** – серебристо-серый металл, токсичный в любой известной форме. Широко используется для производства припоя, красок, боеприпасов, типографского сплава и прочего. Около 60% мировой добычи свинца, которая составляет порядка  $4 \cdot 10^7$  т, ежегодно расходуется для производства кислотных аккумуляторов. Но основным источником (около 80%) загрязнения атмосферы соединениями свинца служат выхлопные газы транспортных средств, в которых используется этилированный бензин, в который в качестве антидетонационной присадки вводят тетра-этил-свинец. Для свинца и его соединений (кроме тетраэтилсвинца) среднесуточная ПДК составляет 0,0003  $\text{мг/м}^3$ , а для тетра-этилсвинца установлен ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ).

Свинец и его соединения, попадая в организм человека, снижают активность ферментов и нарушают обмен веществ, кроме того, они обладают кумулятивным действием, то есть способностью накапливаться в организме человека. Особенно серьёзную угрозу соединения свинца представляют для детей до шести лет. В организме ребёнка остаётся до 40% попавших в него соединений свинца, что нарушает умственное развитие, замедляет рост, ухудшает слух и речь ребёнка и лишает его способности сосредоточиться.

**Фреоны** – группа галогеносодержащих веществ, синтезированных человеком. Их преимуществом перед другими веществами является то, что они не горючи, не токсичны и нейтральны. Фреоны, представляющие собой хлорированные и фторированные углеводы, как недорогие и нетоксичные газы, широко применяют в

качестве хладагентов в холодильниках и кондиционерах, пенообразующих агентов, в установках для газового пожаротушения, рабочего тела аэрозольных упаковок (лаков, дезодорантов и прочего).

**Промышленные пыли** в зависимости от механизма их образования подразделяют на следующие четыре класса:

1. Механическая пыль – образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса;

2. Возгоны – образуются в результате объёмной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат, установку или агрегат;

3. Летучая зола – содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении;

4. Промышленная сажа – входящий в состав промышленного выброса твёрдый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Основной параметр, характеризующий взвешенные частицы, – это их размер (в мкм), который колеблется в широких пределах – от 0,1 до 850,0. Из этой гаммы наиболее опасны частицы от 0,5 до 5,0, поскольку они не оседают в дыхательных путях, и именно их выдыхает человек.

## **ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ**

На промышленных предприятиях страны уровень улова вредных веществ в отходящих дымовых и газовых потоках изменяется в широких пределах. На предприятиях нефтедобывающей промышленности он составляет всего около трёх, а на предприятиях газовой промышленности ещё меньше – около одного процента.

В гораздо лучшем положении находятся другие отрасли народного хозяйства. Так, уровень улова вредных веществ на предприятиях промышленности строительных материалов составляет (в %) около 92, химической и нефтехимической промышленности – около 91, электроэнергетики – около 84, цветной металлургии – около 83.

Вещества, содержащиеся в промышленных выбросах, по агрегатному состоянию можно подразделить на пыли, туманы и газо-парообразные примеси. Поэтому системы очистки промышленных выбросов в атмосферу также подразделяются в зависимости от назначения, то есть от того, какие вредные примеси нужно улавливать. В общем случае классификация различных систем и методов очистки промышленных выбросов от загрязняющих веществ приведена на рис. 4.

Промышленные выбросы, содержащие взвешенные твёрдые или жидкие частицы, представляют собой двухфазные системы. Сплошной фазой в системе являются газы, а дисперсной – твёрдые частицы или капельки жидкости. Для очистки выбросов от жидких и твёрдых примесей применяют различные конструкции улавливающих аппаратов, работающих по принципам:

➤ инерционного осаждения путём резкого изменения направления вектора скорости движения выброса, при этом твёрдые частицы под действием инерционных сил будут стремиться двигаться в прежнем направлении и попадать в приёмный бункер;

➤ осаждения под действием гравитационных сил из-за различной кривизны траекторий движения составляющих выброса (газы и частицы), вектор скорости движения выброса обычно направлен горизонтально, а – загрязняющих частиц под действием сил гравитации стремится к вертикальному;



Рис. 4 – Системы и методы очистки вредных выбросов в атмосферу

➤ осаждения под действием центробежных сил путём придания выбросу вращательного движения внутри циклона, при этом твёрдые частицы отбрасываются центробежной силой к стенке, так как центробежное ускорение в циклоне до тысячи раз больше ускорения силы тяжести, что позволяет удалить из выброса даже весьма мелкие частицы;

➤ механической фильтрации – фильтрации выброса через пористую перегородку (с волокнистым, гранулированным или пористым фильтрующим материалом), в процессе которой аэрозольные частицы задерживаются, а газовая составляющая полностью проходит через неё.

В зависимости от начального и конечного содержания пыли в воздухе, её дисперсности, физико-химических свойств различают три уровня (степени) очистки воздуха: грубую, среднюю и тонкую.

**При грубой очистке** (в качестве первой ступени) улавливается лишь крупная пыль (размером более 100 мкм). **При средней очистке** задерживаются не только крупные частицы более 100 мкм, но и значительная часть мелких пылевых частиц. Остаточная концентрация пыли при этом составляет от 30 до 50 мг/м<sup>3</sup>. **При тонкой очистке** улавливается мелкодисперсная пыль с частицами размером менее 10 мкм при остаточной концентрации от одного до трёх мг/м<sup>3</sup>.

Классификация пылеуловителей по их эффективности в зависимости от физико-химических свойств пыли представлена в табл. 4. Здесь эффективность оценивается по остаточному содержанию только тех пылевых частиц, размер которых соответствует размерам эффективно улавливаемых частиц.

**Очистка от пыли.** К сухим пылеуловителям относятся такие, в которых очистка движущегося воздуха от пыли происходит механически под действием сил гравитации и инерции. Эти системы называются инерционными, так как в них при резком изменении направления движения газового потока частицы пыли, сохраняя по инерции направление движения, ударяются о поверхность, теряют свою энергию и под действием сил гравитации осаждаются в бункере.

Таблица 4

## Классификация пылеуловителей по эффективности

Класс пылеуловителя	Размер эффективно улавливаемых частиц, мкм	Нижние пределы эффективности в зависимости от дисперсности пыли	
		Группы дисперсности пыли	Эффективность
I	Более 0,3–0,5	V IV	<0,8 0,999–0,8
II	Более 2	IV III	0,92–0,85 0,999–0,92
III	Более 4	III II	0,99–0,8 0,999–0,99
IV	Более 8	11 I	0,999–0,95 >0,999
V	Более 20	I	>0,999

Такие пылеуловители условно делятся на три группы:

- пылесадительные камеры, принцип работы которых основан на действии силы тяжести (гравитационной силы);
- инерционные пылеуловители, принцип работы которых основан на действии силы инерции;
- циклоны, батарейные циклоны, вихревые пылеуловители, принцип работы которых основан на действии центробежной силы.

Параметры сухих пылеуловителей представлены в табл. 5.

Таблица 5

## Параметры сухих пылеуловителей (осредненные)

Тип пылеуловителя	Максимальная производительность, м <sup>3</sup> /ч	Эффективность пылеулавливания, % (размер частиц)	Гидравлическое сопротивление, Па	Верхний предел температуры газов, °С
Пылесадительная камера	Скорость газов	80–90 (50 мкм)	50–130	350–550
Циклон	85 000	50–80 (10 мкм)	250–1500	350–550
Вихревой пылеуловитель	30 000	90 (2 мкм)	2000	250
Батарейный циклон	170 000	90 (5 мкм)	750–1500	350–550
Инерционный пылеуловитель	127 000	90 (2 мкм)	750–1500	400
Ротационный пылеуловитель	42 500	90 (2 мкм)	750–1500	400

**Мокрые пылеуловители.** Особенностью этих систем очистки является высокая эффективность очистки от мелкодисперсной пыли (менее 1,0 мкм). Эти системы работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель (или пленки) жидкости под действием сил инерции и броуновского движения. Достоинством этих аппаратов является возможность очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов. Основной недостаток этого способа газоочистки – образование больших объемов шлама.

Аппараты мокрого типа иначе называют скрубберами. **Скруббер** (англ. *scrubber*, от англ. *scrub* – скрести, чистить) – устройство, используемое для очистки твердых или газообразных сред от примесей в различных химико-технологических процессах. Способ основан на промывке газа жидкостью (обычно водой) при максимально развитой поверхности контакта жидкости с частицами

аэрозоля и возможно более интенсивном перемешивании очищаемого газа с жидкостью. Данный метод позволяет удалить из газа частицы пыли, дыма, тумана и аэрозолей (обычно нежелательные или вредные) практически любых размеров.

По конструктивному исполнению различают скрубберы Вентури, форсуночные и центробежные скрубберы, аппараты ударно-инерционного действия, барботажно-пенные аппараты, насадочные скрубберы и прочие. В этих пылеуловителях очистка воздуха от пыли происходит вследствие задержания частиц в порах и разветвлениях пористых и волокнистых материалов (материал может быть дополнительно смочен маслом или водой). По типу фильтровального материала делятся на тканевые, волокнистые и зернистые. Фильтры относятся к I, II и III классам пылеуловителей и предназначены для очистки воздуха от пыли всех групп дисперсности.

**Электрофильтры.** В этих аппаратах осаждение пылевых частиц происходит под действием электростатического поля. Они относятся к I и II классам пылеуловителей и предназначены для очистки воздуха от пыли IV и V групп дисперсности. Электрофильтры используются для очистки значительных объёмов воздуха с высокой эффективностью.

**Туманоуловители** используют для очистки воздуха от туманов, кислот, щелочей, масел и других жидкостей. Это волокнистые фильтры, принцип действия которых основан на осаждении капель на поверхности пор с последующим их стеканием под действием гравитационных сил.

Туманоуловители делят на низкоскоростные (скорость фильтрации  $< 0,15$  м/с), в которых преобладает механизм диффузного осаждения капель тумана, и высокоскоростные (два м/с), где осаждение происходит главным образом под действием инерционных сил. Последние имеют меньшие размеры и обеспечивают эффективность очистки 0,9 – 0,99.

В практике химических производств нередко приходится подвергать разделению неоднородные газовые системы (пыли и туманы). Газы можно очищать от взвешенных в них твёрдых или жидких частиц под действием сил тяжести, центробежных и электростатических сил, а также промывкой и фильтрацией газов.

**Метод сорбции** (абсорбции и адсорбции) – это физический или химический процесс, при котором атомы, молекулы или ионы входят в какое-либо объёмное состояние – жидкость или твёрдое тело. При **абсорбции** происходит разделение газовой смеси на составные части путём поглощения одного или нескольких компонентов газообразных примесей водой (или другим жидким адсорбером) с образованием раствора. Адсорбент выбирают из условия растворения в нём поглощаемого газа. Например, для удаления из газо-воздушной смеси таких примесей, как аммиак и хлористый водород целесообразно применять воду, а для ароматических углеводородов – вязкие масла.

При **адсорбции** поглощение газообразных примесей происходит на поверхности твёрдого тела. В качестве адсорбентов могут выступать разнообразные материалы с высокой удельной поверхностью. Наиболее широко применяемыми адсорбентами служат активированный уголь, силикагели, цеолиты, а также некоторые другие группы природных минералов и синтетических веществ.

**Термический метод**, или высокотемпературное дожигание, который иногда называют термической нейтрализацией, основан на способности горючих газов и паров, входящих в состав вентиляционных выбросов, сгорать с образованием менее токсичных веществ.

Различают три схемы термической нейтрализации:

- прямое сжигание;
- термическое окисление;
- каталитическое дожигание.

При **каталитическом методе** токсичные компоненты газо-воздушной смеси, взаимодействуя со специальным веществом – катализатором, превращаются в безвредные вещества. В качестве катализаторов используются металлы или их соединения (платина, оксиды меди и марганца и пр.). Катализатор играет роль ускорителя химического процесса.

**Метод хемосорбции** основан на поглощении газов и паров твёрдыми или жидкими поглотителями с образованием химических соединений. Реакции хемосорбции экзотермические. Примером хемосорбции может служить очистка газовоздушной смеси от сероводорода мышьякощелочным методом.

Промышленное осуществление каждого из этих способов связано с применением соответствующей аппаратуры: газовых отстойников, центробежных пылесосадителей, электрических фильтров, гидравлических пылеуловителей и газовых фильтров.

Выбор аппарата для очистки газов определяется рядом факторов, главными из которых являются размеры улавливаемых частиц и заданная степень очистки газов. Исходя из этих параметров, можно ориентировочно выбирать газоочистительные устройства по данным, приведённым в таблице.

Таблица 6

*Параметры для выбора газоочистного оборудования*

Аппарат	Размеры улавливаемых частиц, мкм	Степень очистки, %
Пылеосадительные камеры	5–20000	40–70
Центробежные пылеосадители	3–100	45–85
Электрофильтры	0,005–10	85–99
Гидравлические пылеуловители	0,01–10	85–99
Газовые фильтры	2–10	85–99

Как видно из таблицы, пылеосадительные камеры и центробежные пылеосадители можно применять только для сравнительно грубой очистки газа. При этом следует отдавать предпочтение циклонам как более компактным аппаратам, обеспечивающим относительно высокую степень очистки.

Более полная степень очистки газов может быть достигнута при использовании гидравлических пылеуловителей, газовых фильтров и электрофильтров.

Мокрая очистка газов в гидравлических пылеуловителях (скрубберах – насадочных, центробежных и струйных) и механических газопромывателях обеспечивает высокую степень очистки газов (98–99%). Однако этот способ ограниченно применяют в химической промышленности, так как мокрая очистка сопровождается охлаждением, увлажнением, а иногда и окислением газа; кроме того улавливаемые при мокрой очистке частицы не всегда можно использовать в производстве.

Получившие в последнее время некоторое распространение на химических заводах пенные аппараты обеспечивают высокую степень очистки газов от пыли, дыма, туманов (до 90%), но они также не лишены присущих гидравлическим пылеуловителям недостатков.

Электрофильтры – наиболее эффективные пылеочистительные устройства, но применение их экономически выгодно только при больших объёмах очищаемого газа. Использование газовых фильтров возможно в тех случаях, когда температура очищаемого газа составляет 80 – 90° С.

**Пылеосадительные камеры.** Осаждение взвешенных в газовом потоке частиц в пылеосадительных камерах (рис. 5) происходит под действием сил тяжести. Простейшими конструкциями аппаратов этого типа служат отстойные газоходы,



снабжаемые иногда вертикальными перегородками для лучшего осаждения твёрдых частиц.

Для очистки горячих печных газов широко применяют многополочные пылеосадительные камеры. Эти камеры громоздки и малоэффективны; их используют преимущественно для предварительной грубой очистки газов и заменяют более совершенными газоочистительными аппаратами.

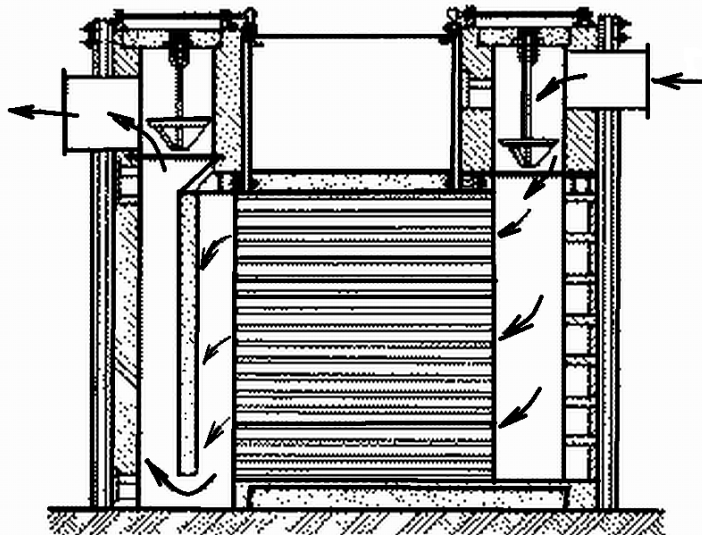


Рис. 5 – Пылеосадительная камера

**Центробежные пылеосадители.** В центробежных пылеосадителях (циклонах) осаждение взвешенных в газовом потоке частиц происходит в поле центробежных сил.

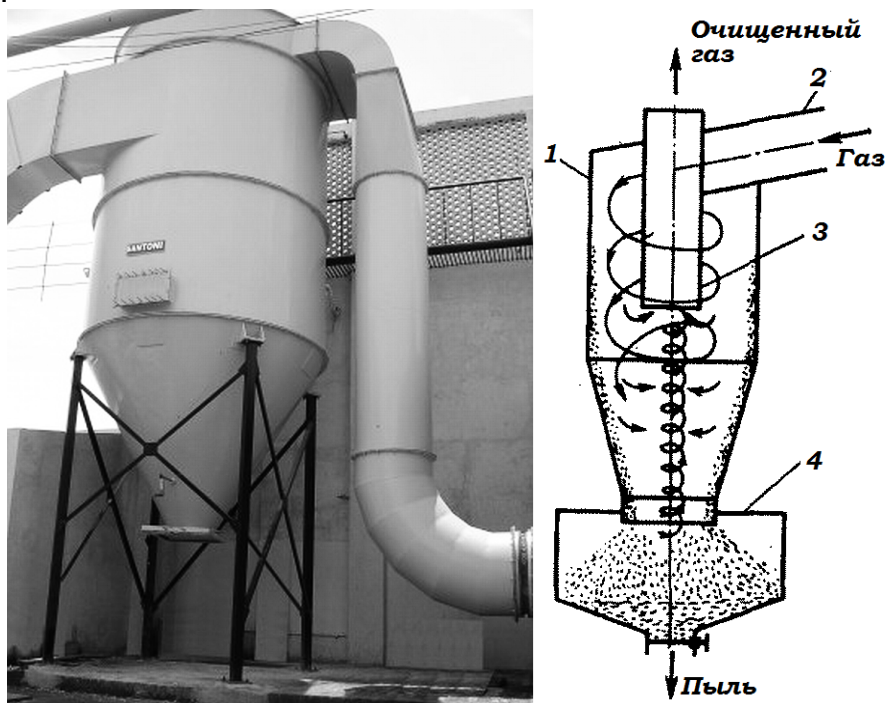


Рис. 6 – Внешний вид и схема работы центробежной обеспыливающей системы (циклон)

Для сухой очистки газов наиболее употребительны центробежные обеспыливающие системы (циклоны) (рис. 6). Газовый поток, попадая во внутренний кор-

пус циклона **1** через патрубок **2**, совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса по направлению к бункеру **4**. Под действием сил инерции частицы пыли осаждаются на стенках корпуса, а затем попадают в бункер. Очищенный газовый поток выходит из бункера через патрубок **3**.

Особенностью таких систем очистки является обязательная герметичность бункера, в противном случае из-за подсоса воздуха осаждаемые частицы пыли падают в выходную трубу.

**Батарейный циклон.** Поступающий на очистку газ подводится к центробежному пылеосадителю по трубопроводу, направленному по касательной к цилиндрической части аппарата (рис. 7). В результате газ вращается внутри циклона вокруг выхлопной трубы. Под действием центробежной силы, возникающей при вращательном движении газа, твердые частицы большей массой отбрасываются от центра периферии, осаждаются на стенке, а затем через коническую часть удаляются из аппарата. Очищенный газ через выхлопную трубу поступает в производство или выбрасывается в атмосферу.

Общие недостатки центробежных пылеосадителей – недостаточная очистка газа от тонкодисперсной пыли, высокое гидравлическое сопротивление, а, следовательно, и большой расход энергии на очистку газа, быстрое истирание стенок пылью, а также чувствительность аппаратов к колебаниям нагрузки.

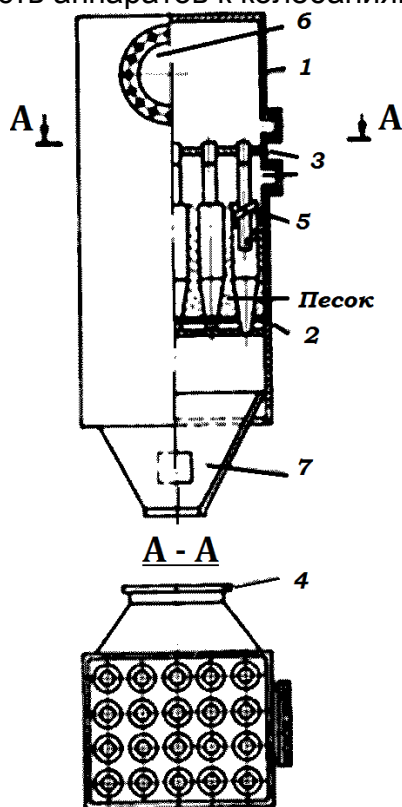


Рис. 7 – Батарейный циклон:

**1** – корпус; **2, 3** – решётки; **4** – патрубок для ввода запылённого газа; **5** – элементы; **6** – патрубок для вывода очищенного газа; **7** – конусное днище

**Гидравлические пылеуловители.** Мокрую очистку газов проводят в гидравлических пылеуловителях: скрубберах (насадочных, центробежных, струйных) и механических газопромывателях со смоченными поверхностями.

Из новых конструкций наибольший интерес представляют шаровые пылеуловители, обладающие рядом преимуществ по сравнению с распространенными типами механических газопромывателей со смоченными поверхностями. Аппараты шаровидной формы наименее металлоемки. В таких аппаратах обеспечивается хорошее распределение газа по рабочему сечению и уменьшенные потери давления газа; шаровидная форма позволяет удачно расположить основные рабочие элементы.

Газовый поток (рис. 8), содержащий мелкодисперсные твердые частицы, через штуцер **1** поступает в пылеуловитель и под действием отбойного щитка **2** меняет направление движения при одновременном снижении скорости. В результате наиболее крупные твердые частицы, содержащиеся в газовом потоке, опускаются и попадают в масло, которым заполнена нижняя часть пылеуловителя.

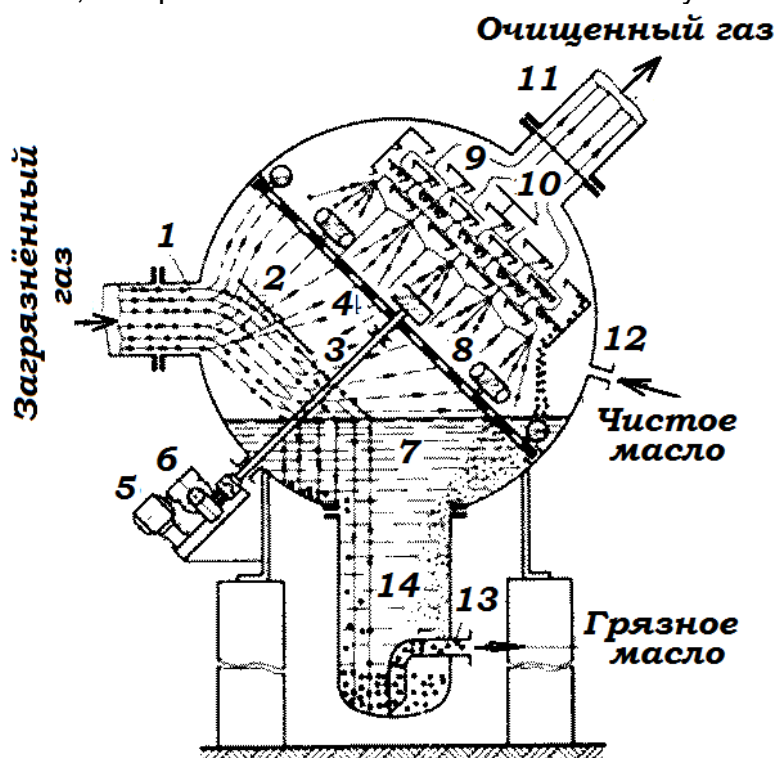


Рис. 8 – Гидравлический пылеуловитель

Частично очищенный таким образом газ равномерно распределяется по свободному сечению аппарата и поступает в проволочный лабиринт вращающегося на валу **3** ситчатого диска **4**. Последний вращается электродвигателем **5** через редуктор **6**. Сильно развитая и смоченная маслом поверхность диска **4** задерживает все содержащиеся в газе мелкодисперсные твердые частицы. Удаление твердых частиц с поверхности ситчатого диска, а также смачивание её маслом происходят при вращении диска. Как видно из схемы, часть поверхности диска, проходя через ванну **7**, увлекает своей пористой поверхностью масло. Верхняя часть диска орошается маслом из укрепленных по периметру диска ковшей **8**, которые при вращении наполняются маслом в ванне **7**. Пройдя диск **4**, газ поступает в каплеуловитель **9**. Равномерное распределение газа по сечению каплеуловителя обеспечивается отрегулированным отбойником **10**.

В каплеуловителе из газа удаляются капельная влага и конденсат, поступившие в пылеуловитель из газопровода, а также капли масла, незначительное ко-

личество которых может образовываться при разрыве пузырей масла на выходной стороне диска **4**.

Осаждённые в каплеуловителе **9** влага, конденсат и масло стекают в ванну **7**, а очищенный газ через штуцер **11** выходит из пылеуловителя.

Все твёрдые частицы, которые поступают в процессе очистки газа в полость ванны **7**, попадают в нижнюю часть грязевика **14**, откуда периодически отводятся через штуцер **13** вместе с грязным маслом. Уровень масла в ванне **7** поддерживается постоянным подводом чистого масла через штуцер **12**.

Шаровой пылеуловитель состоит из сборных и взаимозаменяемых элементов, позволяющих в процессе его эксплуатации регулировать и заменять отдельные элементы..

**Электрофильтры.** В электрофильтрах происходит ионизация молекул газового потока, проходящего между двумя электродами, к которым подведён постоянный электрический ток.

Рабочие органы электрофильтра – это коронирующие и осадительные электроды. Отрицательное напряжение обычно подводят к коронирующему электроду, а положительное – к осадительному (рис. 9). Поэтому к осадительным электродам под действием разности потенциалов движутся только отрицательные ионы и свободные электроны. Последние на своём пути сталкиваются со взвешенными в газовом потоке мелкими твёрдыми или жидкими частицами, передают им отрицательные заряды и увлекают к осадительным электродам. Подойдя к осадительному электроду, частицы пыли или тумана оседают на нём, разряжаются и при встряхивании отрываются от электрода под действием собственной силы тяжести.

Трубчатые электрофильтры представляют собой камеры, в которых установлены осадительные электроды в виде круглых или шестигранных труб. Коронирующими электродами служат отрезки проволоки, натянутые по оси труб. Сверху электроды прикреплены к раме, подвешенной на изоляторах, снизу связаны общей рамой для предотвращения колебаний. Равномерное распределение газа по трубам обеспечивается установкой газораспределительной решётки.

В пластинчатых электрофильтрах осадительными электродами служат параллельные гладкие металлические листы или натянутые на рамы сетки; между ними подвешены коронирующие электроды, выполненные из отрезков проволоки.

Преимущества трубчатых электрофильтров по сравнению с пластинчатыми – создание более эффективного электрического поля и лучшее распределение газа по элементам. Последнее позволяет улучшить очистку или увеличить скорость прохождения газа и производительность аппарата.

К недостаткам трубчатых электрофильтров следует отнести: сложность монтажа, трудность встряхивания корродирующих электродов без нарушения строгого центрирования, а также большой расход энергии на единицу длины электрических проводов.

Преимущества пластинчатых электрофильтров – простота монтажа и удобство встряхивания электродов.

Для очистки сухих газов применяют преимущественно пластинчатые электрофильтры, а для очистки трудно улавливаемой пыли, капель жидкости из туманов (не требующих встряхивания электродов) и для обеспечения наиболее высокой степени очистки используют трубчатые электрофильтры.

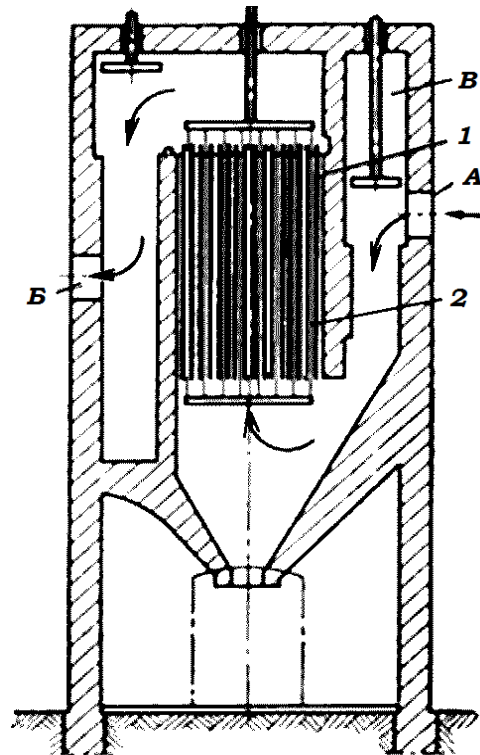


Рис. 9 – Пластинчатый электрофильтр:

1 – коронирующие электроды; 2 – пластинчатые осадительные электроды;  
 а – входной газопровод; б – выходной газопровод; в – камера

Между электродами фильтра, при напряженности электрического поля около 1,5 МВ/м, возникает коронный разряд, следствием которого является заполнение межэлектродного пространства отрицательно заряженными электронами, которые под действием сил электрического поля движутся в направлении от коронирующих к осадительным электродам (рис. 10). Встречая на своём пути частицы зола или пыли, электроны абсорбируются на их поверхности и передают им свой заряд. Твёрдые частицы под действием сил поля движутся в направлении осадительных электродов, где осаждаются под действием сил электростатического поля и адгезии (сцепления).

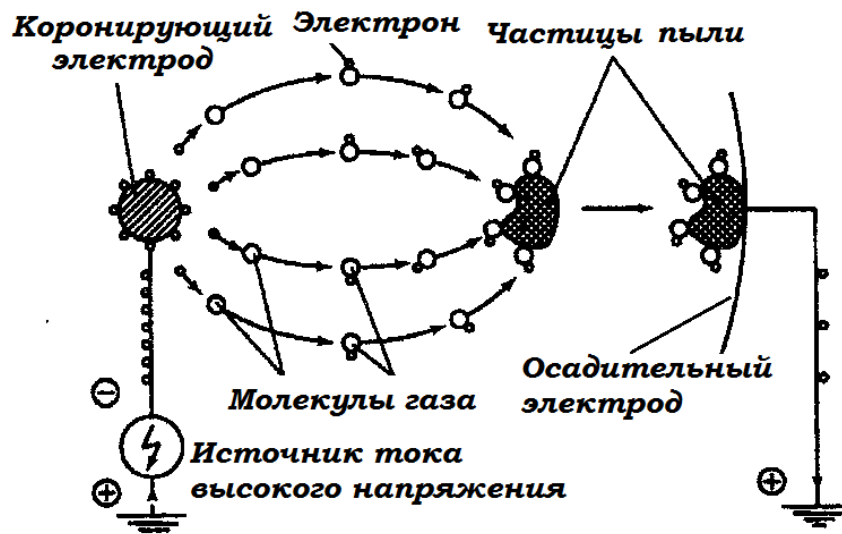


Рис. 10 – Принцип работы электрофильтра

Осадительные электроды могут иметь различный профиль (плоский, коробчатый, желобчатый, перфорированный, открытый и др.), но общее требование к их конструкции – это наличие гладкой поверхности без острых кромок и выступов, снижающих рабочее напряжение электрофильтра. Для горизонтальных сухих электрофильтров наибольшее применение получили осадительные электроды открытого профиля, состоящие из вертикальных профилированных элементов корытообразной формы, скрепленных поперечными полосами вверху и внизу. Данная форма обеспечивает наибольшую жесткость при минимальной металлоемкости, а наличие зон аэродинамической тени снижает величину вторичного уноса и позволяет использовать электроды такого профиля при скоростях газа до 1,7 м/с. Применение осадительных электродов открытого профиля позволило создать установки с активной высотой электродов до 12,5 м.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. В каких агрегатных состояниях загрязнители попадают в окружающую среду?
2. Укажите основные загрязнители атмосферного воздуха, образующиеся на предприятиях?
3. Как подразделяются механические пыли?
4. Укажите основные принципы очистки отработанных промышленных газов и типы пылеуловителей.
5. Назначение, устройство и принцип работы пылеосадительной камеры.
6. Назначение, устройство, принцип работы центробежного пылеосадителя.
7. Назначение, устройство, принцип работы гидро-пылеуловителя.
8. Назначение, устройство и принцип работы электрофильтра.
9. В чём заключается принцип работы электрофильтра?

## РАЗДЕЛ 4. ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

---

### ЗАГРЯЗНЕНИЕ МИРОВОГО ОКЕАНА

Моря и океаны играют решающую роль в сохранении среды обитания, влияют на климат Земли и обеспечивают баланс её экологической системы. В настоящее время водное пространство сталоместилищем разнообразных отходов. В результате сброса в реки, а, затем и в океан, сточных вод различных промышленных предприятий, стока их с обработанных химикатами полей и лесов и потерь жидкого топлива при перевозках танкерами, постоянно возрастает загрязнение океанов и морей такими вредными для жизнедеятельности веществами, как нефть, тяжёлые металлы, пестициды, радиоизотопы и др.

Токсические вещества, в частности оксид углерода, диоксид серы, попадают в морскую воду через атмосферу. Например, ежегодно в Мировой океан вместе с дождем поступают 50 тыс. т свинца, попадающего в воздух вместе с выхлопными газами от силовых установок транспортных систем. Под влиянием течений загрязнения очень быстро распространяются по водному пространству. Всё указанное приводит к тому, что поля загрязнений формируются наиболее интенсивно в прибрежных водах крупных промышленных центров, в районах нефтедобычи и интенсивного судоходства, а также в устьях полноводных рек.

Накопленные многолетние данные о влиянии распространения в океане загрязняющих веществ на морские организмы и человека показывают, что наиболее опасными с точки зрения их воздействия на природные экосистемы являются углеводороды, то есть сырая нефть, нефтепродукты, а также хлорированные углеводороды (например, пестициды), токсичные металлы и радиоактивные вещества.

Различают три группы источников загрязнения Мирового океана:

1. Морские – военные корабли, суда различного назначения и другие установки и устройства, эксплуатируемые в морской среде; трубопроводы, установки и устройства, используемые при разведке и разработке природных ресурсов морского дна и его недр;

2. Наземные – реки, озёра и другие водные системы, куда загрязняющие вещества попадают с грунтовыми водами, а также в результате сбросов сточных и нагретых вод с различных береговых объектов, захоронений радиоактивных отходов и других особо вредных веществ;

3. Атмосферные – различные промышленные предприятия, транспортные средства и другие объекты, откуда могут происходить выбросы в атмосферу вредных газообразных отходов.

Особенности загрязнения морских вод нефтью. К числу наиболее распространенных и вредных загрязняющих веществ относятся нефть, ежегодное поступление которой в моря и океаны, по данным ООН, достигает от шести до семи млн т. Ожидается дальнейший рост загрязнений нефтью из-за постоянного увеличения объёма её добычи, особенно с континентального шельфа.

Нефтепродукты попадают в морскую воду непосредственно в результате аварий и сбросов или выноса речными и ливневыми стоками и грунтовыми водами, а также из атмосферы, главным образом в составе атмосферных осадков. Первый канал поступления приводит к локальным или региональным загрязнениям мор-

ской среды, а второй – к глобальным.

Одним из основных источников нефтяных загрязнений морской среды служит морской транспорт, прежде всего танкерный. В мире задействован гигантский танкерный флот общей вместимостью более 120 млн брутто-регистрационных тонн – это свыше трети вместимости всех морских транспортных средств. Сейчас плавают 230 судов грузоподъемностью от 200 до 700 тыс. т каждое. Но это представляет колоссальную потенциальную опасность для вод Мирового океана. По известным данным, из-за аварий на танкерах в моря и океаны поступает примерно пять процентов всей перевозимой нефти. Подсчитано, что если 200 тыс. т нефти попадет в Балтийское море, то оно будет превращено в биологическую пустыню.

Огромное количество нефти попадает в море в результате сброса с судов промывочных, балластных и льяльных (трюмных) вод, а также потерь при погрузке и разгрузке танкеров. По этим причинам в морях и океанах ежегодно оказывается около трёх млн т нефти. При этом в основном загрязняются территории портов, припортовые акватории, прибрежные районы и районы интенсивного судоходства.

В начале третьего тысячелетия подводные скважины будут давать 50% добываемой в мире нефти. При морской нефтедобыче возможно загрязнение морской среды вследствие аварий, а также мелких утечек нефти (оцениваемых в 0,1 млн т ежегодно). Очевидно, что этот источник представляет огромную потенциальную опасность, и его роль в формировании нефтяных загрязнений морей и океанов со временем будет увеличиваться.

Источником нефтяных загрязнений вод служат береговая промышленность, и в первую очередь нефтеперерабатывающие заводы. Хотя сточные воды промышленных предприятий очищаются, полной очистки сточных вод от нефти и нефтепродуктов достичь не удаётся. Большое количество нефтепродуктов попадает в океанические бассейны из атмосферы. Например, двигатели внутреннего сгорания, которыми оснащены различные транспортные средства, выбрасывают в воздух в год более 50 млн т различных углеводородов.

Кроме техногенных источников, имеются и природные. Естественные выходы нефти образуются в местах её просачивания из нефтеносных слоев через земную кору. Такие выходы известны у берегов Южной Калифорнии, в Мексиканском и Персидском заливах, Карибском море. Скорость поступления нефти из естественных выходов обычно невелика, поэтому таким образом в моря и океаны попадает сравнительно небольшое количество нефтяных углеводородов, а основную массу загрязнений Мирового океана (более 90 %) поставляют источники антропогенного происхождения.

**Использование пресных вод.** В зависимости от того, каким образом используют водные ресурсы, все отрасли народного хозяйства подразделяют на две категории:

**1.** Водопользователи – это отрасли, которые используют водоёмы для различных целей, но безвозвратный водозабор не ведут. К ним относятся гидроэнергетика, водный транспорт, рыбное хозяйство, местные органы, использующие воду для целей и нужд населения (службы хозяйственно-питьевого потребления).

**2.** Водопотребители – это отрасли, которые берут воду из водоёмов, причём часть её используется безвозвратно. Крупнейшими водопотребителями являются теплоэнергетика (особенно АЭС), сельское хозяйство, а из промышленности – химическая и металлургическая.



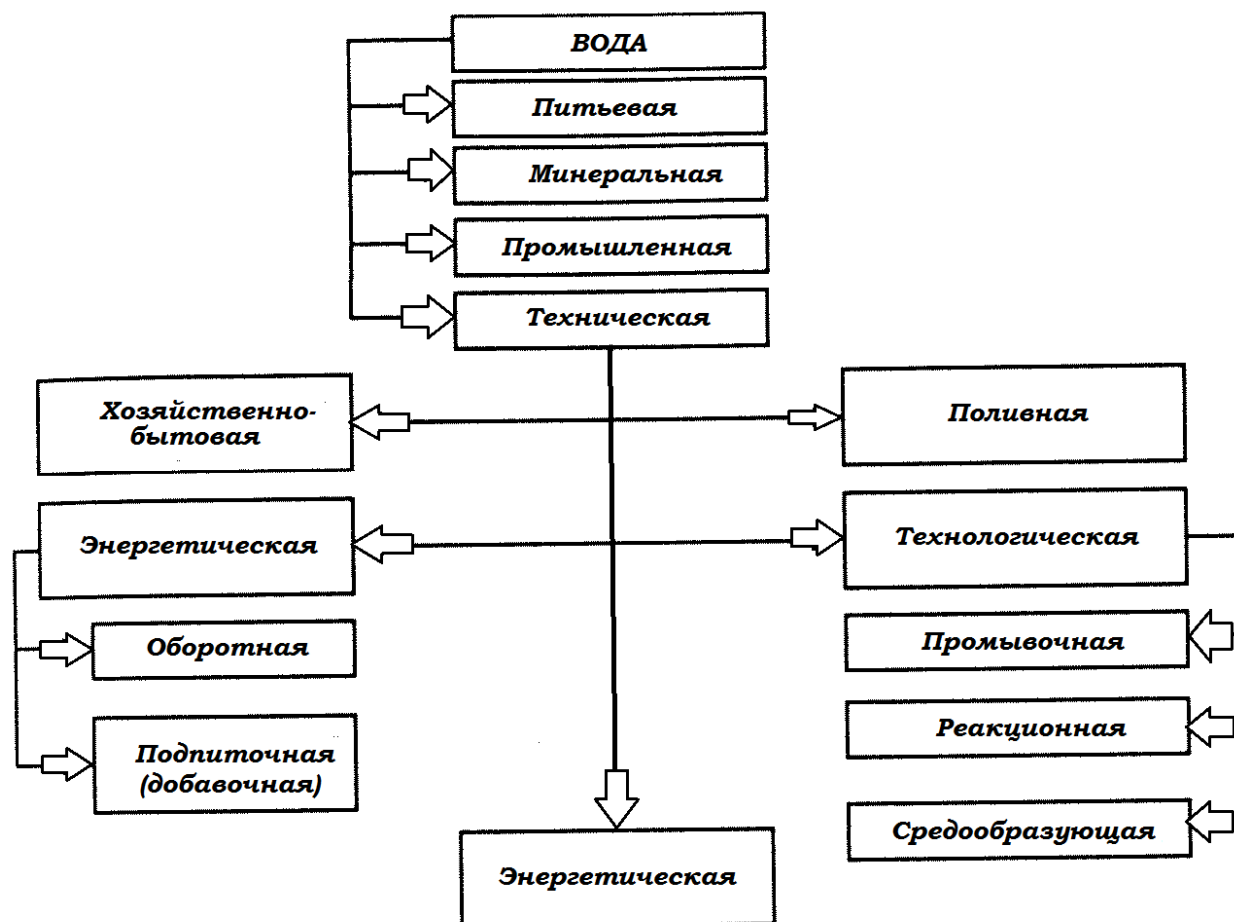


Рис. 11 – Классификация пресных вод по целевому назначению

Современный город с населением один миллион человек потребляет в сутки 300 тыс. м<sup>3</sup> воды, из которых 75 – 80% превращаются в сточные воды.

Существует классификация пресных вод по целевому назначению (рис. 11).

## УПРАВЛЕНИЕ ЖИДКИМИ ОТХОДАМИ

### Утилизация отходов химической промышленности

**Сжигание.** Жидкие отходы химической промышленности, нефтесодержащие сточные воды, растворители и прочие вещества могут сжигаться двумя способами – в распыленном состоянии и над слоем (последнее преимущественно для жидких горючих отходов).

При **форсуночных способах** топливо сжигается в топках печей в распыленном состоянии в виде мельчайших капелек, которые хорошо перемешиваются с воздухом и сгорают на лету. Чем лучше частицы топлива рассредоточены и перемешаны с воздухом, тем совершеннее процесс горения. Для распыливания топлива в основном применяются форсунки паровые, воздушные и механические. Наиболее распространенные их типы работают по принципу общеизвестных форсунок системы Шухова. На рис. 12 приведён общий вид форсунки (ФРГ) для распыливания жидких отходов.

Жидкие промышленные отходы подаются по оси установки через вентиль **1** и распыляются первичным сжатым воздухом, поступающим из вентиля **2**. В факел горения по направлению стрелки подаётся сжатый воздух.

Сжигание нефтеотходов и других жидких горючих отходов в печах с форсуночным распыливанием топлива обычно ограничивается из-за возможности засорения форсунок инородными механическими включениями, срывом горения из-за попадания воды и другим.

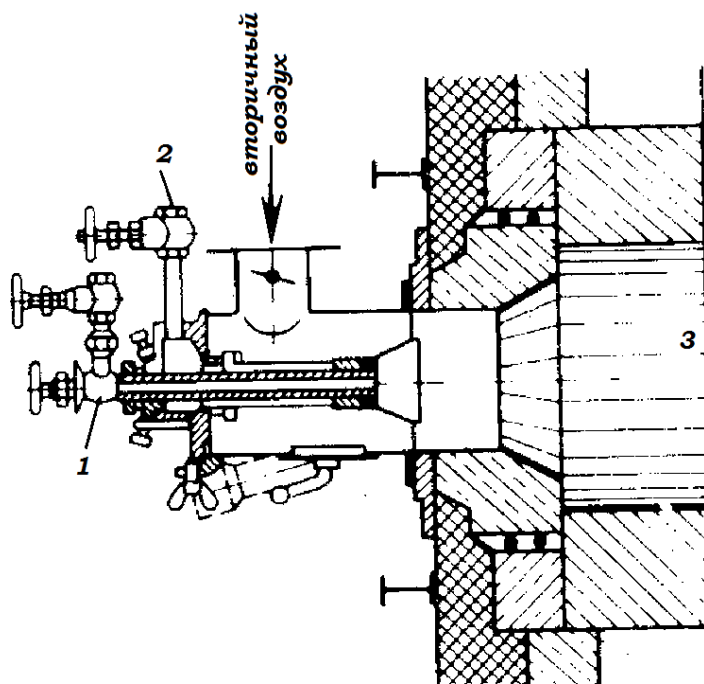


Рис. 12 – Общий вид установки форсунки для распыливания жидких отходов в печах:

- 1 – вентиль на линии подачи раствора;  
2 – вентиль на линии первичного воздуха; 3 – стенка печи

Термическое обезвреживание жидких, твёрдых, газообразных, а также комбинированных смесей промышленных отходов может осуществляться их форсуночным распыливанием в топочном объёме **камерных топок**.

На рисунке показана схема топки Лурги для сжигания упаренного сульфитно-щёлока. Распыляемый при помощи сопел щёлок подсушивается и сгорает в противотоке дымовых газов. Отходящие газы обогревают паровой котел. Так как щёлок плохо воспламеняется, в топку вводят угольную пыль. На рис. 13 показана схема внутреннего устройства топки Лурги для сжигания щелока с угольной пылью. В топочной камере устроен экран, включённый в циркуляционную схему котла. В пространство, образованное стенками топочной камеры и экраном, через форсуночный распылитель, при помощи перегретого пара, впрыскивается щёлок. Навстречу струе щёлока через сопла подаётся первичный воздух, необходимый для процесса горения. Зажигание щёлока осуществляется при помощи горелки. Температура топочного пространства, в среднем, составляет 1300 °С.

Типичным примером **циклонной топки** служит установка для обезвреживания сточных вод (сульфитных щелоков целлюлозно-бумажной промышленности) в г. Лоддби (Швеция). Установка состоит из вентилятора 1 и циклонной печи 2 (рис. 14). В отличие от прямоточных конструкций подводящий канал вентилятора установлен здесь тангенциально к образующей цилиндрической камеры печи. Выходящий из вентилятора воздух приобретает вращательное движение и перемещается вдоль цилиндра по спирали.

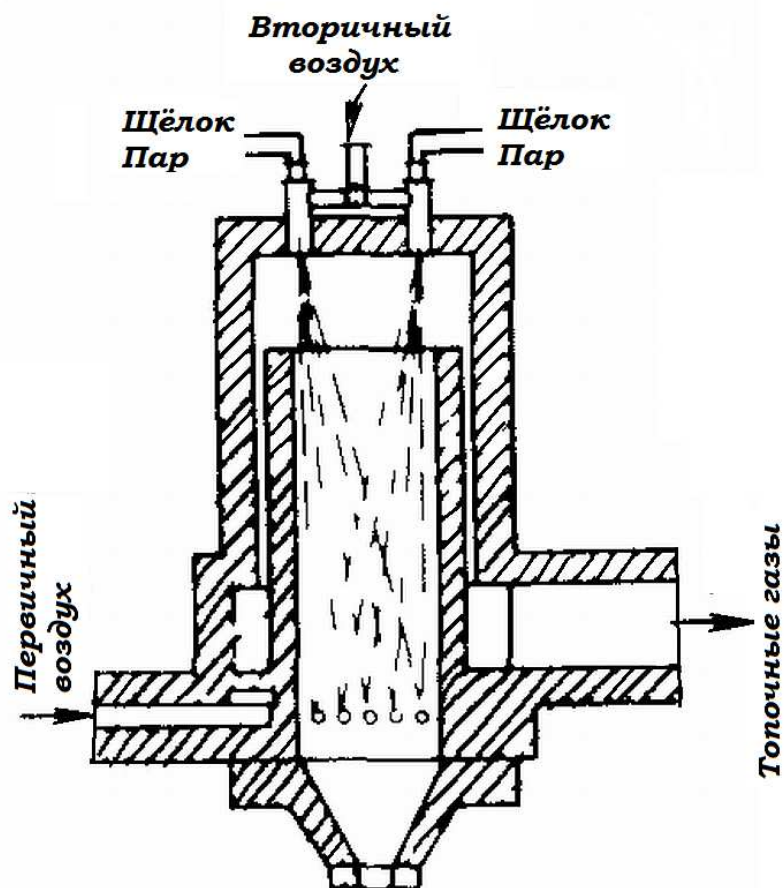


Рис. 13 – Схема топки Лурги для сжигания упаренного сульфитного щелока

В торце камеры предусмотрена паровая форсунка, через которую под давлением около 0,7 МПа распыляется щёлк. При выходе из форсунки щёлк смешивается с движущимся по спирали воздухом. Капли щелока высыхают и воспламеняются. Несгоревшие частицы за счёт центробежной силы отбрасываются к стенкам топки в зону наибольшей концентрации кислорода и там догорают.

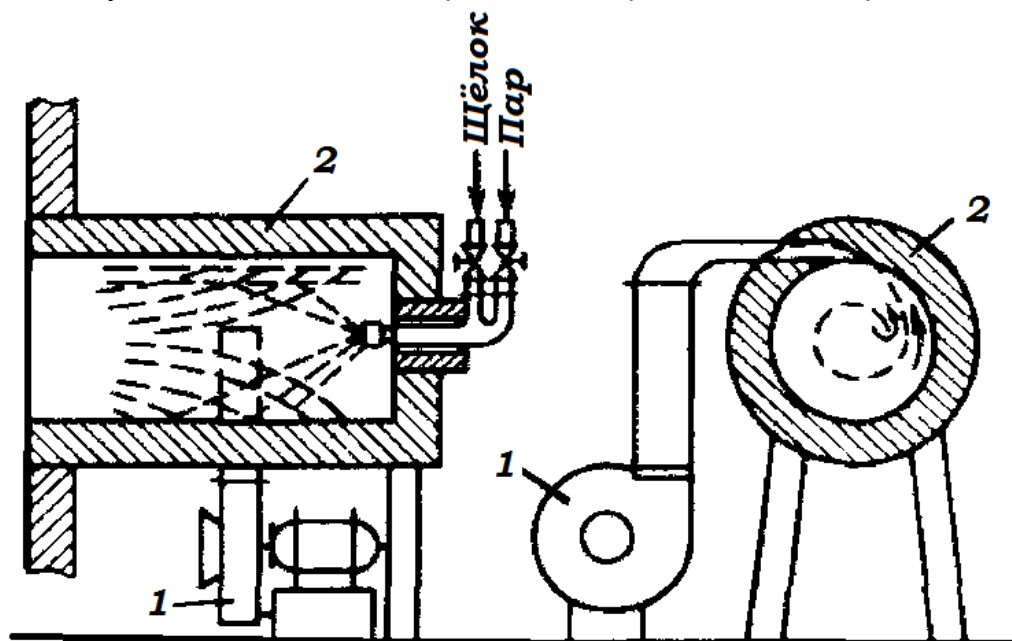


Рис. 14 – Схема циклонной топки Лоддби:  
1 – вентилятор; 2 – циклонная печь

Увеличение турбулентности в камере сгорания является эффективным средством для улучшения подвода окислителя при большой концентрации распыленных частиц и малых коэффициентах избытка воздуха.

Воздух, подаваемый на горение, предварительно не подогревается. Вследствие этого температура у стенок печи, футерованных глиноземистым кирпичом (60 %  $AlO_3$  и 40 %  $SiO_2$ ), ниже температуры пламени. Зола удаляется в твёрдом состоянии один раз в смену. Объём печи производительностью 6,3 т/ч упаренного щёлока составляет  $4,15 \text{ м}^3$ , длина печи 3,75 м, диаметр – 1,2 м.

**Крупногабаритная установка для надслоевого сжигания горючих отходов** с принудительной подачей воздуха в зону горения была сконструирована в США (рис. 15).

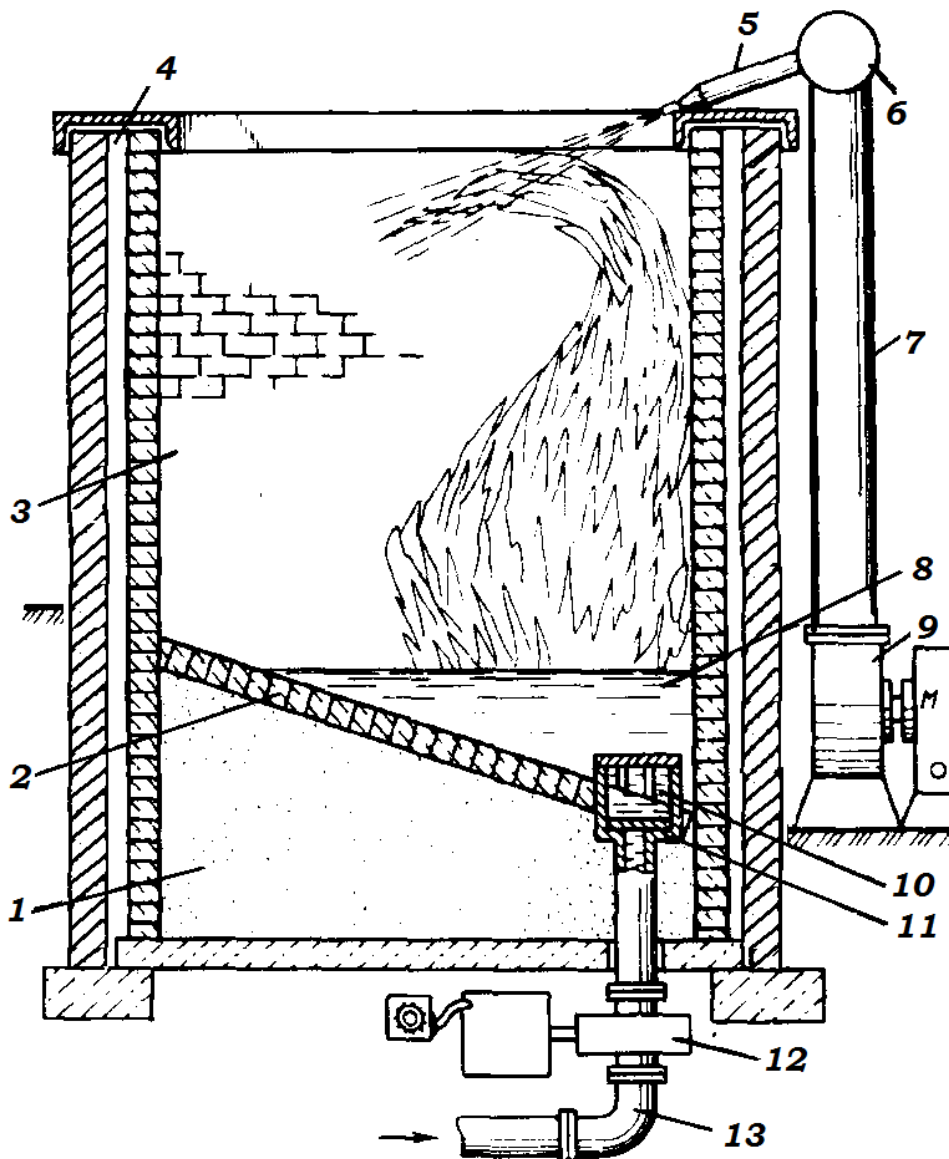


Рис. 15 – Американская установка надслоевого горения:

- 1 – песчаное основание; 2 – днище камеры сгорания; 3 – камера сгорания;
- 4 – воздушный зазор; 5 – сопло; 6 – коллектор; 7 – напорный воздуховод;
- 8 – слой жидких отходов; 9 – вентилятор; 10 – отверстия клапанной коробки;
- 11 – клапанная коробка; 12 – насос; 13 – подземный трубопровод

Прямоугольная камера сгорания **3** печи, футерованная огнеупорным кирпичом, имеет зазоры **4** для охлаждения её воздухом. Днище **2** камеры сгорания, также выполненное из огнеупорного кирпича, наклонено к горизонтали и лежит на песчаном основании **1**. В углублённой части камеры расположена клапанная коробка **11**, имеющая в верхней части ряд отверстий **10**. Насос **12** через трубопровод **13** соединяется с резервуаром жидких отходов. Вентилятор **9** напорным воздуховодом **7** соединён с коллектором **6**, расположенным вдоль стены камеры сгорания и заканчивающимся соплом **5**.

В процессе работы установки отходы подаются насосом в камеру сгорания, где образуется слой, почти целиком закрывающий днище печи. С помощью легко воспламеняющейся жидкости (бензин, керосин) поверхность отходов поджигается. В то же время включается вентилятор **9**; воздух начинает поступать в сопла коллектора и доставляет кислород в зону горения, футерованные стенки камеры сгорания постепенно раскаляются и становятся источником излучения, способствующим испарению летучих компонентов сжигаемых отходов. При правильном регулировании подачи горючих отходов и воздуха сгорание отходов может быть достаточно полным.

Установки такого типа относительно просты, не требуют сложной предварительной обработки отходов и могут применяться в местах их централизованного сжигания. К недостаткам установок следует отнести громоздкость, а также неуправляемость процессом при вскипании воды под слоем жидких отходов.

**Сушка** представляет собой процесс удаления влаги из твёрдого или пастообразного материала путём испарения содержащейся в нём жидкости за счёт подведённого к материалу тепла. Это термический процесс, требующий значительных затрат тепла.

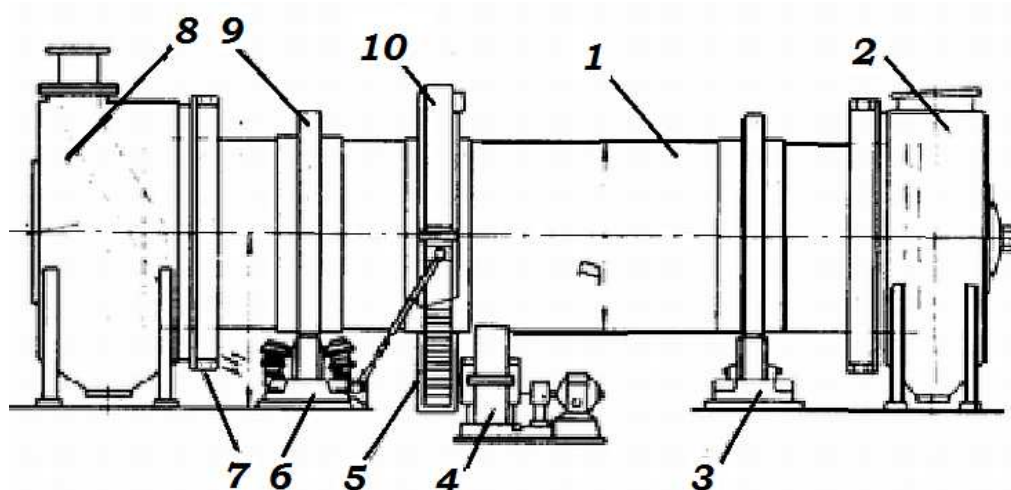
Сушка широко применяется в химической, химико-фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности. Относительно широкое распространение сушка получила в области обработки осадка городских сточных вод (барабанные сушилки, сушка во встречных струях). Процессы термического удаления той части влаги, которую невозможно удалить механическим путём, могут также найти применение при обработке промышленных отходов, которые необходимо подготовить к транспортированию и дальнейшей переработке (например, гальванические шламы), а также при обработке некоторых отходов химической, пищевой и других отраслей промышленности. Сушка осуществляется конвективным, контактным, радиационным и комбинированными способами.

Метод сушки выбирают на основе технологических требований к высушиваемому продукту и с учётом технико-экономических показателей. Процесс сушки осуществляется за счёт тепловой энергии, вырабатываемой в генераторе тепла.

Генератором тепла могут служить паровые или газовые калориферы, топки, работающие на твёрдом, жидком или газообразном топливе, инфракрасные излучатели и генераторы электрического тока. Выбор генератора тепла обычно определяется схемой и методом сушки, физическими свойствами высушиваемого материала и требуемым режимом сушки. При возможности целесообразно использовать тепло отходящих газов или отработанного пара, при этом одновременно утилизируются тепловые отходы.

Типовые конструкции сушилок следующие: шкафные, камерные, туннельные, шахтные, ленточные, барабанные, вальцевые (контактные), пневматические, распиливающие, с кипящим слоем, вибрационные.

**Барabanные сушилки** широко используются в химической промышленности для сушки сыпучих, мелкокусковых и зернистых материалов. В таких сушилках тепло передается от сушильного агента непосредственно высушиваемому материалу внутри сушильного барабана, то есть в барабанных сушилках применяют конвективный способ передачи тепла.



*Рис. 16 – Внешний вид и схема барабанной сушилки:*

- 1** – барабан; **2** – разгрузочная камера; **3** – группа роликов; **4** – привод;  
**5** – зубчатый венец; **6** – опора с боковыми роликами; **7** – уплотнение;  
**8** – загрузочная камера, **9** – бандаж; **10** – кожух

Существуют также конструкции барабанных сушилок, в которых тепло передается через обогреваемую стенку. В качестве сушильного агента используют воздух или дымовые газы. Барабанные сушилки не следует отождествлять с другими типами сушилок, например трубчатыми и шнековыми.

Барабанная сушилка для сушки сыпучих материалов представляет собой цилиндрический барабан **1** с прикрепленными к нему бандажами **9**, опирающимися на группы роликов **3** и приводимых во вращение от привода **4** через зубчатый венец **5**, укрепленный на барабане. Мощность электродвигателя привода барабана

зависит от геометрических размеров сушилки и колеблется от 2,5 до 200 кВт. Зубчатая венцовая пара закрывается кожухом **10**.

Барaban устанавливается с небольшим наклоном, который обуславливает время пребывания материала и определяется эмпирически или расчётом. Отечественной промышленностью выпускаются барабанные сушилки диаметром 1,0 – 3,5 и длиной 6 – 27 м, производительностью по испаряемой влаге 0,3 – 15,0 т/ч.

Высушиваемый материал подается в загрузочную камеру **8** питателем (рис. 16, 17), установленным над точкой. Материал поступает на приёмно-винтовую насадку, приваренную под углом 60°. Длина насадки от 700 до 1100 мм в зависимости от диаметра барабана. Число лопастей насадки – 8–16. Приёмно-винтовой насадкой материал подаётся на основную насадку. Для равномерного распределения высушиваемого продукта между двумя видами насадок делается разрыв от 50 до 250 мм. При вращении барабана лопасти насадки подхватывают материал, поднимают его и сбрасывают. В это время продукт продувается сушильным агентом и высушивается. За счёт установки барабана под небольшим наклоном (до 6°) материал постепенно передвигается к разгрузочной камере **2**.

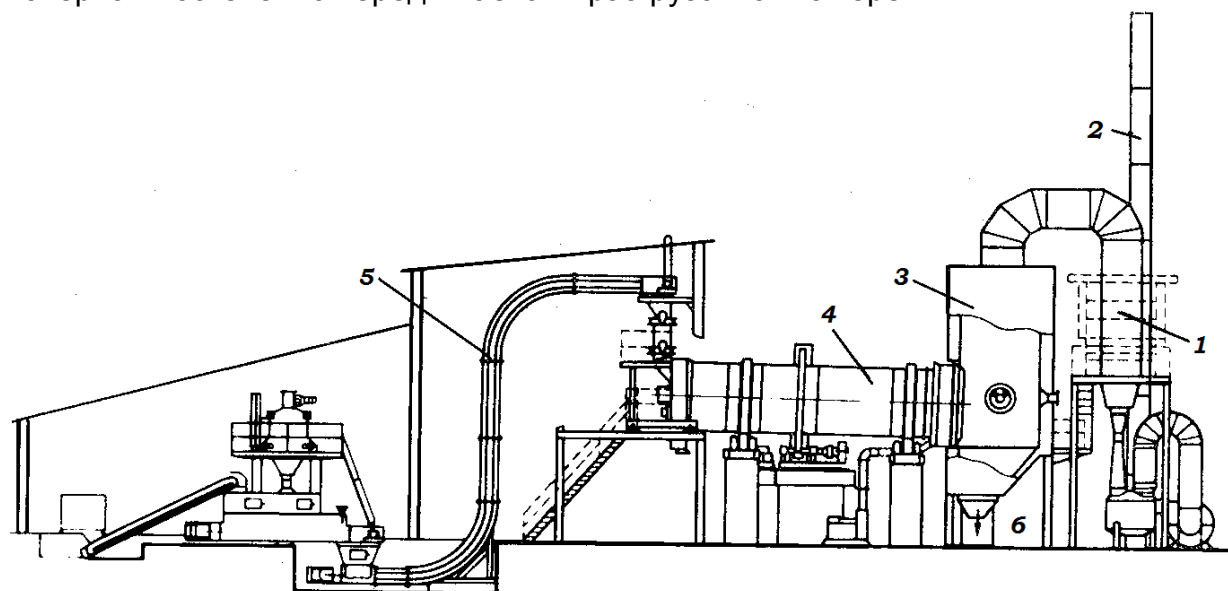


Рис. 17 – Установка с барабанной печью:

- 1 – очистка газов; 2 – труба; 3 – камера дожигания; 4 – барабан;  
5 – подача отходов; 6 – шлак

Сушильный агент и материал в барабане движутся относительно друг друга прямотоком или противотоком. Во избежание уноса высушиваемого продукта в первом случае скорость газа не должна превышать трёх м/с. Объём барабана заполняется материалом на 20 %.

**Сушилки с кипящим слоем.** К сушилкам конвективного типа относятся сушилки с так называемым кипящим, или псевдосжиженным, слоем (рис. 18). Их широко применяют в химической промышленности для сушки зернистых, сыпучих, а в ряде случаев и пастообразных материалов. Продолжительность сушки материала в кипящем слое резко сокращается. Преимущества этого способа сушки заключаются в интенсивном перемешивании твёрдых частиц и теплоносителя, в большей площади поверхности контакта фаз, а также в простоте конструкции сушилки.

При подаче воздуха через слой зернистого материала снизу последний фильтруется. С повышением скорости газа увеличивается давление на частицы и

при достижении критической скорости (скорость псевдосжижения) частицы поднимаются и хаотически циркулируют в слое. При этом перепад давлений в слое практически становится постоянным. С дальнейшим ростом скорости газа частицы выносятся из слоя частиц (пневмотранспорт).

В состоянии псевдооживления частицы твёрдого материала интенсивно перемешиваются в слое, в результате чего увеличивается площадь поверхности контакта фаз, а температуры и концентрации во всём объёме выравниваются.

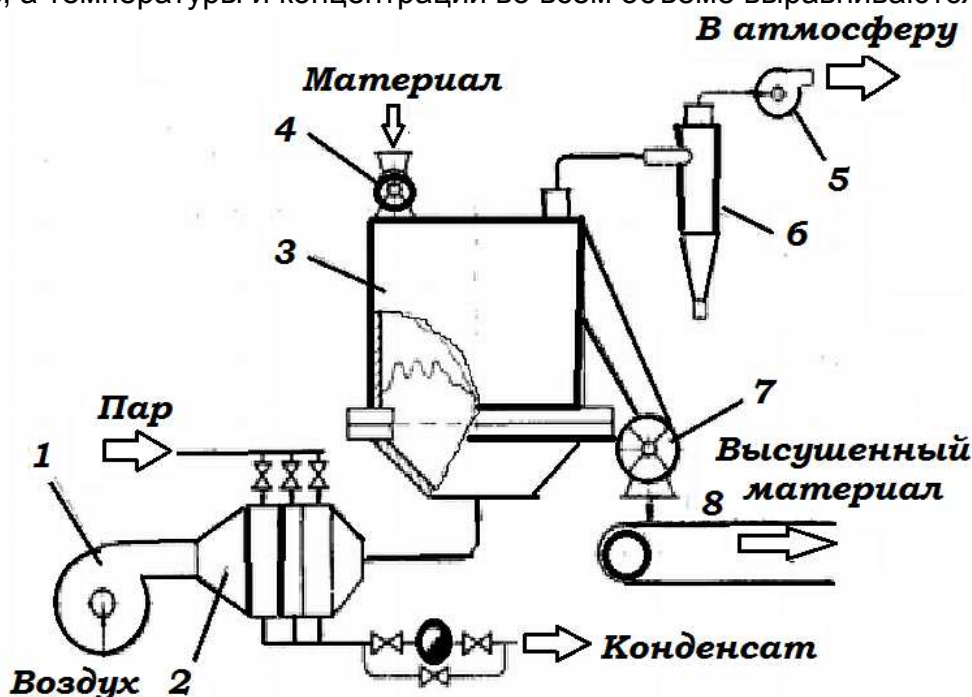


Рис. 18 – Схема однокамерной сушилки с кипящим слоем:

- 1 – воздуходувка; 2 – топка; 3 – сушилка; 4 – загрузочное устройство;  
5 – дымосос; 6 – циклон; 7 – затвор; 8 – конвейер

Скорость процессов при этом резко возрастает. Таким образом, использование кипящего слоя для сушки материалов позволяет добиться её равномерности при высокой интенсивности процесса.

В сушилках с кипящим слоем обычно сушат продукт с размерами зёрен от 0,1 до 5,0 мм. Как правило, эти сушилки отличаются высокой надёжностью. Они могут работать как холодильники для продуктов в потоке холодного воздуха. Сушилки с кипящим слоем делятся по технологическому назначению на периодические, полунепрерывные и непрерывные.

**Распылительные сушилки.** Сушка распылением широко применяется для обезвоживания концентрированных растворов веществ, в результате чего готовый продукт получается в виде порошка или гранул. При этом материал, подлежащий высушиванию, распыливается в сушильной камере при помощи специальных приспособлений. Вследствие образования капель площадь поверхности материала резко возрастает. При этом сушка происходит мгновенно.

В качестве сушильного агента используют горячий воздух, дымовые и инертные газы. При сушке распылением материал не перегревается и температура на поверхности обычно в пределах 60–70°C. Это объясняется тем, что при малых размерах частиц (до 4–5 мкм) испарение идёт очень быстро, и материал не успевает нагреться за то время, пока частица соприкасается с горячими газами, имеющими температуру до 1200 °C. Несмотря на то что время сушки составляет 15–30 с,



поверхность материала не пересыхает. Возможна сушка и холодным теплоносителем, когда распиливаемый нагретый материал высушивается в токе холодного воздуха и оседает уже в виде твёрдых частиц.

Воздух воздуходувкой **1** подается в сушильную камеру **3**. Проходит в теплообменник **2**. Нагрев может быть паровым, газовым, центрическим; вместо воздуха могут использоваться дымовые газы. В камере горячий газ встречается с каплями продукта, распыленного с помощью распылительного диска **4**, газ отсасывается дымососом **5**, проходя предварительно через циклон **6**, и выбрасывается в атмосферу. В качестве осадительных устройств используются циклоны, рукавные фильтры или орошаемые скрубберы. Распыление осуществляется при помощи вращающихся дисков, механических или пневматических форсунок.

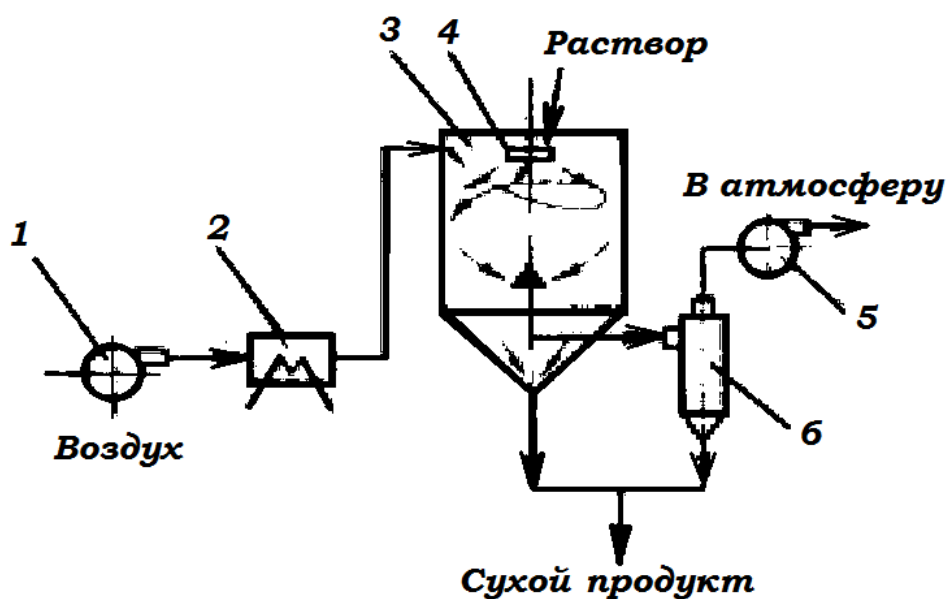


Рис. 19 – Общая схема распилительной сушильной установки:  
**1** – воздуходувка; **2** – теплообменник; **3** – сушильная камера;  
**4** – распылительный диск; **5** – дымосос; **6** – циклон

Недостатки распилительных сушилок следующие:

- отсутствие циркуляции теплоносителя, что приводит к повышенному расходу электроэнергии;
- громоздкость конструкции, большие габариты;
- сложность распыливающих и пылеулавливающих устройств;
- сравнительно высокая стоимость сушилки.

Несмотря на перечисленные недостатки, область применения распилительных сушилок непрерывно расширяется.

### **Механическое обезвоживание осадков промышленных сточных вод**

В процессе очистки сточных вод образуются осадки (рис. 20), объём которых составляет от 0,5 до 1,0 % объёма сточных вод для станций совместной очистки бытовых и производственных сточных вод и от 10 до 30 % – для локальных очистных сооружений. Условно осадки можно разделить на три основные категории – минеральные осадки, органические осадки и избыточные активные илы. Основные задачи современной технологии обработки состоят в уменьшении их объёма и в

последующем превращении в безвредный продукт, не вызывающий загрязнения окружающей среды.

Механическое обезвоживание осадков промстоков может производиться экстенсивными и интенсивными методами. Экстенсивные методы осуществляются в различного рода уплотнителях, интенсивное обезвоживание и сгущение производится при помощи фильтрования, центрифугирования или гидро-циклонирования.

Фильтрование представляет собой процесс отделения твёрдых веществ от жидкости, происходящий при разности давлений над фильтрующей средой и под ней. Для обезвоживания осадков и шламов обычно используют вакуум-фильтры и фильтр-прессы. Фильтрующей средой на фильтрах является фильтровальная ткань и слой осадка, прилипающий к ткани и образующий в процессе фильтрования дополнительно фильтрующий вспомогательный слой, который собственно и обеспечивает задержание мельчайших частиц суспензии. По мере увеличения слоя роль фильтрующей перегородки (ткани) сводится лишь к поддержанию фильтрующего вспомогательного слоя.

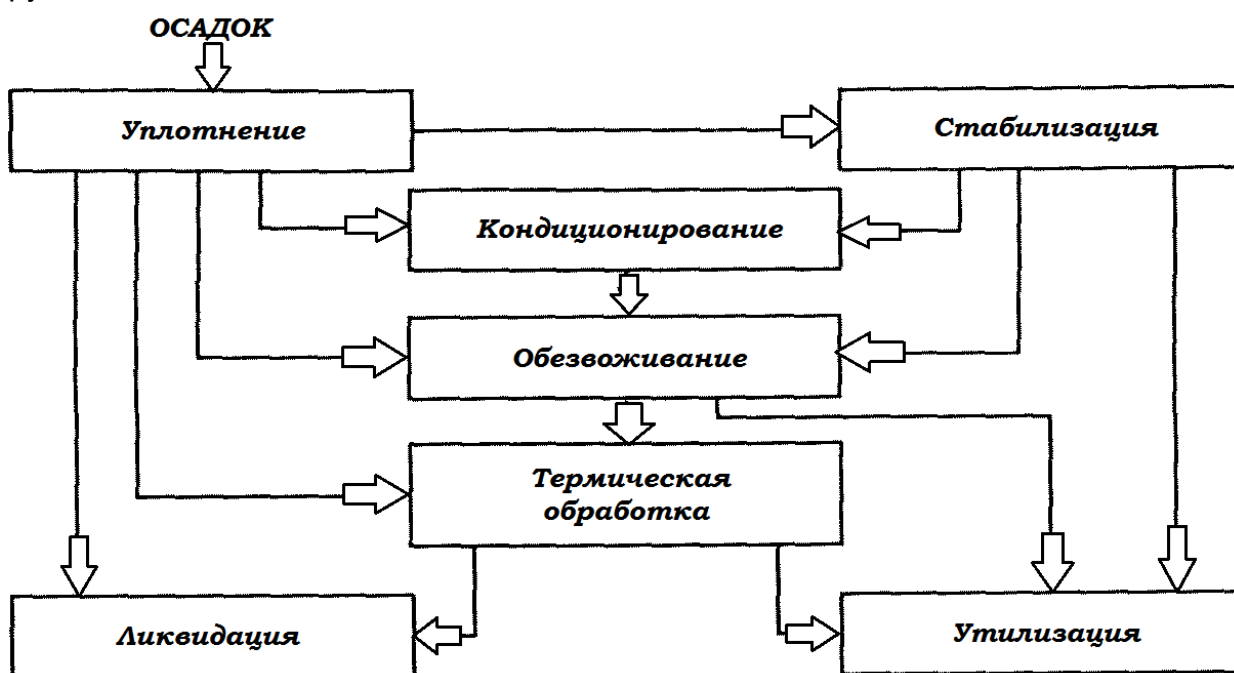


Рис. 20 – Общая схема обработки осадков сточных вод

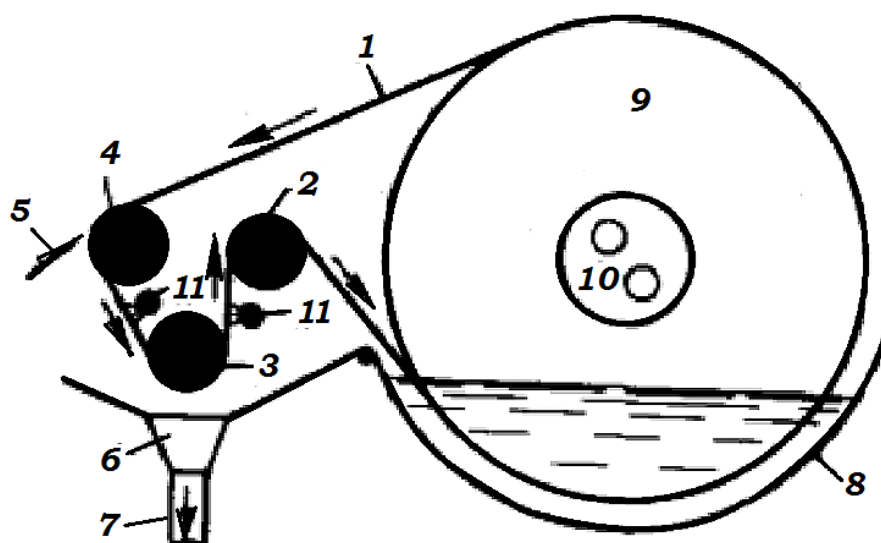
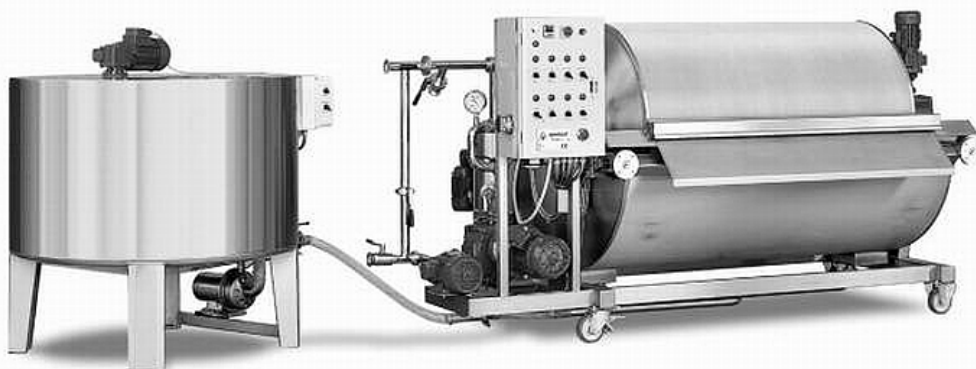
Фильтруемость суспензий характеризуется удельным сопротивлением осадка. В данном случае под осадком имеется в виду слой кека (слой твёрдых частиц, остающийся на фильтрующей поверхности после фильтрации суспензий), отлагающегося на фильтровальной перегородке при фильтровании суспензий.

Удельным сопротивлением осадка называется сопротивление единицы массы твёрдой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице.

**Вакуум-фильтр** со сходящим полотном состоит из горизонтально расположенного цилиндрического полого барабана **9**, частично (на 35–40 %) погружённого в корыто **8** с фильтруемой суспензией (рис. 21). Разделённый внутри на изолированные секции барабан вращается на валу, один конец которого соединён с электроприводом, а другой имеет распределительную головку **10**. Назначение последней заключается в поочередном сообщении отдельных секций барабана с вакуумной и напорной линиями. При вращении барабана часть его поверхности погруже-

на находящуюся в корыте **8** суспензию. Фильтрат под действием вакуума проходит через фильтровальную ткань секции барабана и отводится наружу. Кек, задержанный на фильтровальной ленте, подсушивается при помощи вакуума и отдувается сжатым воздухом.

Фильтровальная ткань **1** при вращении барабана сходит на систему роликов **4**, **3** и **2**. При прохождении её через разгрузочный ролик **4**, кек отделяется от ткани и снимается ножом **5**. При этом происходит одновременная отдувка кека и очистка ткани сжатым воздухом, подающимся в полый ролик **4**. При движении ткани от ролика **4** к натяжному и возвратному роликам **3** и **2** происходит промывка её с обеих сторон водой, подающейся под давлением из насадок **11**. Ролики **3** и **2** самоустанавливающиеся, благодаря чему ткань на барабане всегда натянута должным образом. При недостаточной регенерации фильтровальной ткани в разбрызгивающую систему вместо воды может подаваться ингибированная соляная кислота.



*Рис. 21 – Внешний вид и схема вакуум-фильтра с непрерывной регенерацией фильтровальной ткани:*

- 1** – фильтровальная ткань; **2** – возвратный ролик; **3** – натяжной ролик;
- 4** – разгрузочный ролик; **5** – нож для съема кека; **6** – желоб промывной воды;
- 7** – отвод промывной воды; **8** – корыто фильтра; **9** – барабан фильтра;
- 10** – распределительная головка; **11** – трубы с насадками для промывки ткани

**Пресс-фильтры.** Одним из распространённых устройств для обезвоживания осадков является фильтр-пресс (рис. 22). Для этих целей наиболее широко применяют рамные и камерные фильтр-прессы и ленточные фильтр-прессы. Из

всех известных механических обезвоживающих устройств фильтр-прессы дают осадок с самой низкой влажностью.

Обычный фильтр-пресс с вертикальными рамами состоит из чередующихся плит и рам одинаковых размеров, опирающихся боковыми ручками на две параллельные направляющие. Между соприкасающимися поверхностями плит и рам имеются тканевые фильтровальные перегородки.

Рамы и плиты могут выполняться из пластмассы, полипропилена, поливинилиденфторида или металла: серого чугуна, стали, легированной стали или алюминиевого сплава. Уплотнение рам и плит осуществляется кромками фильтровальных перегородок. Рамы и плиты в процессе фильтрации сдвигаются в одно целое при помощи запорной плиты к неподвижной плите. Фильтруемая суспензия и фильтрат подводятся в направлениях, указанных стрелками. По окончании фильтрации рамы автоматически раздвигаются, кек падает вниз и отводится от фильтра транспортером.

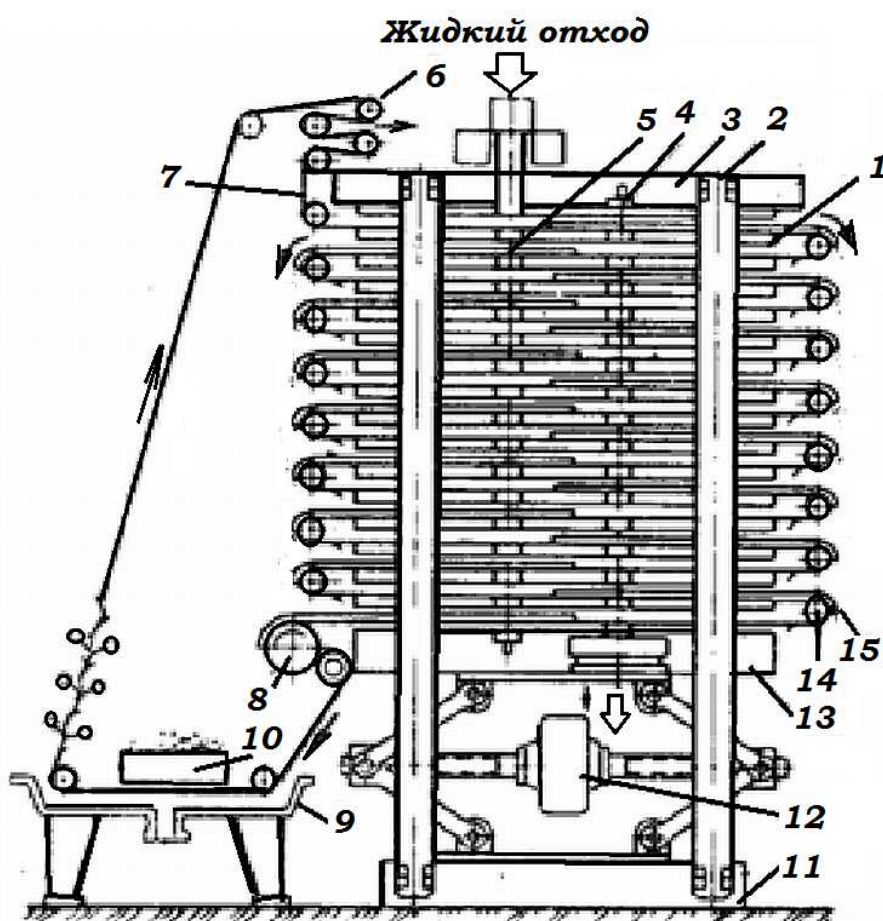


Рис. 22 – Схема фильтр-пресса:

- 1 – фильтрующие плиты; 2 – стяжка; 3 – верхняя упорная плита;
- 4 – коллектор отвода; 5 – коллектор подачи;
- 6 – натяжное устройство; 7 – фильтровальная ткань;
- 8 – привод передвижения ткани; 9 – камера регенерации; 10 – течка;
- 11 – нижняя опорная плита; 12 – электромеханический зажим;
- 13 – нажимная плита; 14 – ролики; 15 – нож для снятия осадка

Под **центрифугированием** понимают разделение неоднородных фаз при помощи центробежных сил. Оно осуществляется в аппаратах, называемых центрифугами.

Центрифугирование суспензий и шламов производится двумя методами. В первом случае центрифугирование выполняется в роторах, имеющих сплошную стенку, во втором – перфорированную. Центрифугирование в перфорированных роторах является процессом, отдельные элементы которого сходны с фильтрацией и прессованием шламов.

По принципу действия центрифуги делятся на: осадительные и фильтрующие, периодического и непрерывного действия.

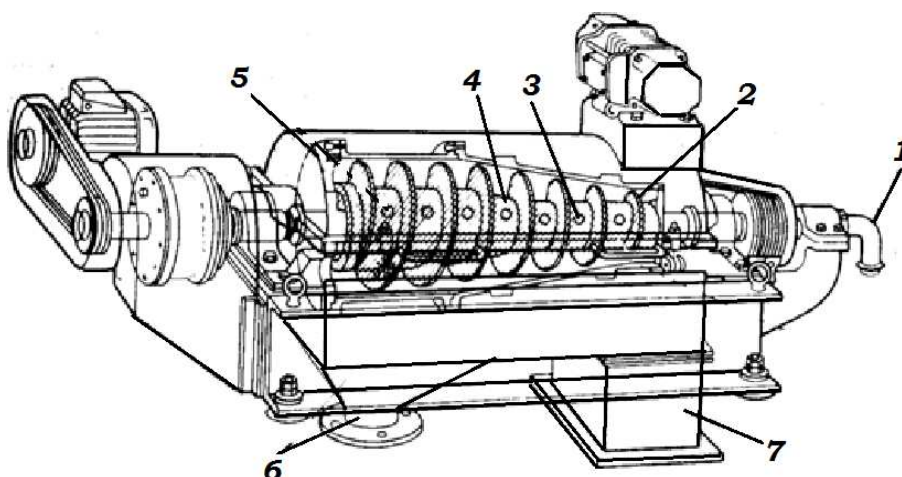
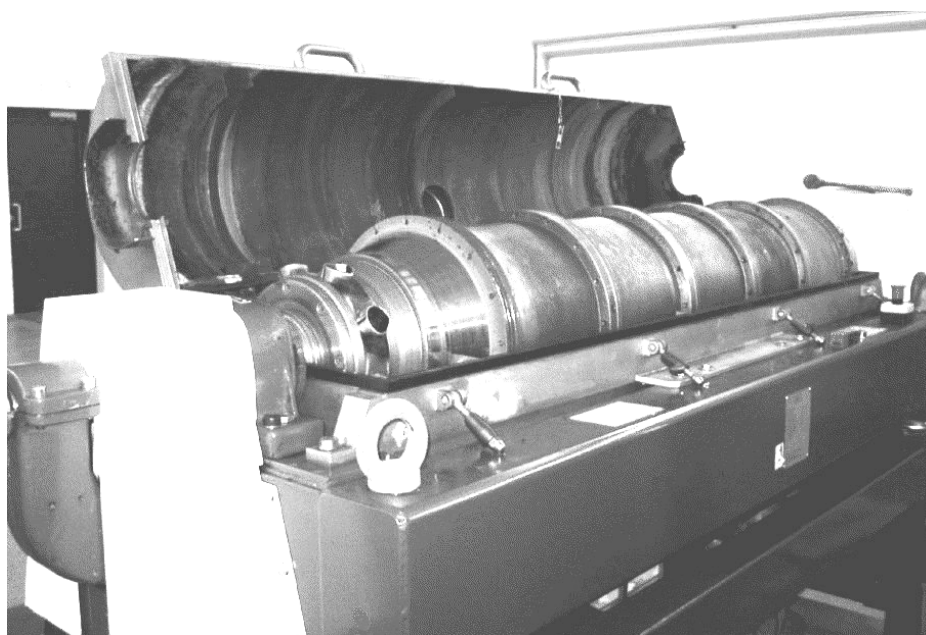
Для обезвоживания промышленных и бытовых осадков сточных вод в России и за рубежом преимущественно используются вертикальные осадительные центрифуги периодического действия и горизонтальные осадительные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой осадка.

Для обезвоживания осадков сточных вод наиболее подходящими служат непрерывно действующие горизонтальные центрифуги со шнековой выгрузкой осадка типа «ОГШ». Принципиальное устройство центрифуги такого типа показано на рис. 23.

Обезвоживаемый осадок подаётся по трубе **1** полого шнека **2** и через отверстие **3** поступает в приёмную камеру ротора **4**. Более крупные и тяжёлые частицы осадка под действием центробежной силы отжимаются к внутренней поверхности ротора, перемещаются шнеком и выгружаются через окна **8** в трубу-бункер **7**. Фугат (фильтрат) через сливные отверстия **5** вытекает в сливную трубу **6**. Регулируя расстояние между наружными кромками сливных отверстий **5**, называемое «диаметром слива», в определённых пределах можно изменять качество фугата и обезвоженного осадка.

Шнек и ротор центрифуги приводятся во вращение от электродвигателя через клиноременную передачу. Шнек вращается в ту же сторону, что и ротор, несколько отставая от него, за счёт чего и происходит относительное перемещение осадка по стенкам ротора к разгрузочному бункеру **7**.

Недостатком шнековых осадительных центрифуг считается абразивный износ поверхностей шнека в результате разности частоты вращения шнека в роторе, что особенно проявляется при обезвоживании высокоминерализованных осадков промышленных сточных вод. Но, в настоящее время имеются конструкции центрифуг с износоустойчивыми роторами, что достигается упрочнением кромок шнека, соприкасающихся с абразивным осадком, специальными сменными насадками из твёрдых сплавов металлокерамических материалов.



*Рис. 23 – Иллюстрация и схема устройства центрифуги шнекового типа:  
 1 – труба подачи осадка; 2 – полый шнек; 3 – проходные отверстия; 4 – ротор;  
 5 – сливные отверстия 6 – сливная труба; 7 – разгрузочный бункер*

## **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД**

Выделяют два основных пути очистки сточных вод: разбавление сточных вод и очистка их от загрязнений. Разбавление представляет собой паллиативную меру, которая не ликвидирует воздействия сточных вод, а лишь ослабляет его на локальном участке водоёма. Основной путь – очистка сточных вод от загрязнений. Методы очистки производственных и бытовых вод можно подразделить на следующие группы: механические, физико-химические, химические, биологические и термические (рис. 24). По своей сути эти методы могут быть рекуперационными и деструктивными. Первые предусматривают извлечение из сточных вод всех ценных веществ и последующую их переработку, а вторые – разрушение загрязняющих веществ путём их окисления или восстановления, в результате чего образуются газы или осадки.

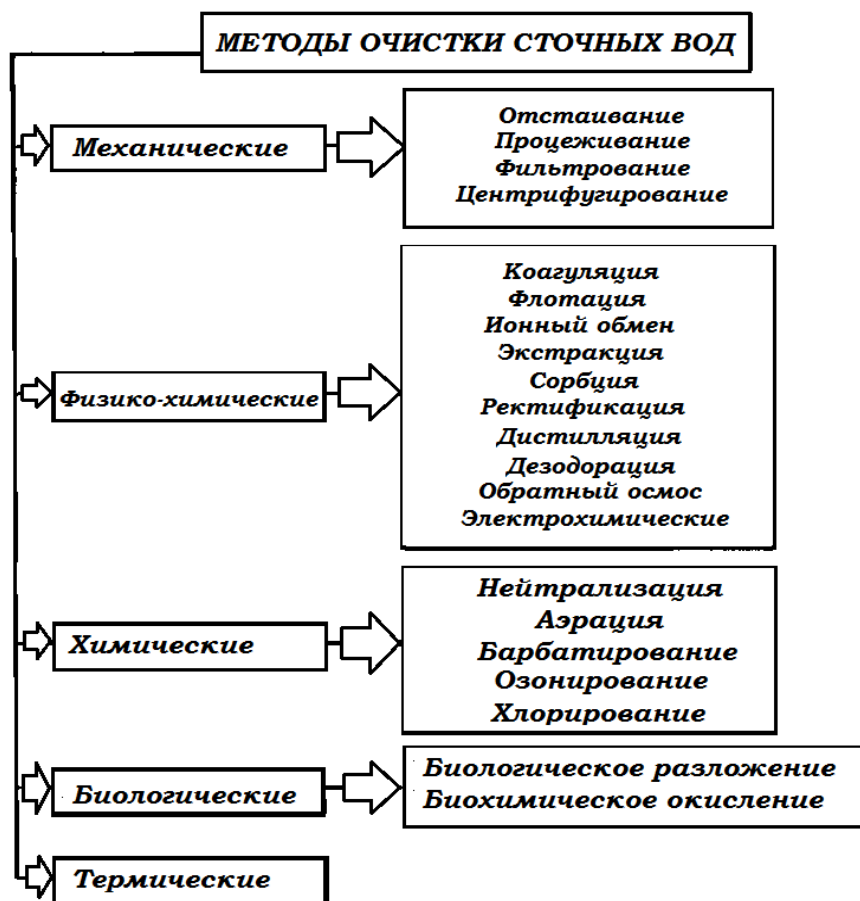


Рис. 24 – Классификация методов защиты водных объектов от загрязнения сточными водами

В комплекс очистных сооружений, как правило, входят сооружения механической очистки (рис. 25). В зависимости от требуемой степени очистки они могут дополняться сооружениями, где применяются другие группы очистки, а при более высоких требованиях в состав очистных сооружений включаются сооружения глубокой очистки. Перед сбросом в водоём очищенные сточные воды обеззараживаются. Образующийся на всех стадиях очистки осадок или избыточная биомасса поступает на сооружения по обработке осадка. Очищенные сточные воды могут направляться в оборотные системы водообеспечения промышленных предприятий, на сельскохозяйственные нужды или сбрасываться в водоём. Обработанный осадок может утилизироваться, уничтожаться или складироваться.

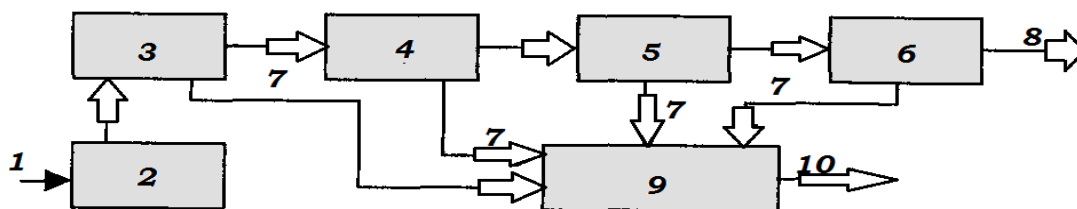


Рис. 25 – Общая схема очистки сточных вод:

- 1 – необработанные сточные воды; 2 – устройство для регулирования состава и расхода сточных вод; 3 – сооружения технической очистки; 4 – сооружения других групп очистки; 5 – сооружения глубокой очистки; 6 – сооружения по обеззараживанию сточных вод; 7 – осадок или избыточная биомасса; 8 – очищенные сточные воды; 9 – сооружения по обработке осадка; 10 – обработанный осадок

Перед подачей сточных вод на механическую очистку их могут направлять в устройства, которые регулируют состав и расход сточных вод. Это обусловлено тем, что состав сточных вод и их объём (в результате залповых выбросов), особенно для промышленных предприятий, значительно изменяется в течение суток. К таким устройствам относят **усреднители**, которые либо дифференцируют поток сточных вод, либо интенсивно перемешивают отдельные потоки их. В конструктивном отношении усреднители представляют собой железобетонные резервуары прямоугольной формы в плане, при этом в первом случае он состоит из четырёх-шести параллельно расположенных коридоров, в которые поступает сточная вода. Эффект усреднения достигается разным временем поступления отдельных порций воды к сборному диагональному лотку.

При усреднении за счёт перемешивания сточные воды попадают в лоток, расположенный над резервуаром и оборудованный зубчатым водосливом для равномерного распределения воды по длине усреднителя. Перемешивание сточных вод происходит с помощью насосов, мешалок или барботиров. Общий объём усреднителей зависит от состава и режима отведения сточных вод и обычно соответствует (4–12) часовому их притоку.

Сооружения для очистки сточных вод располагают таким образом, что вода проходит их последовательно, одно за другим. В сооружениях для механической очистки сначала выделяются наиболее тяжёлые и наиболее крупные взвеси, а затем основные массы нерастворённых загрязнений; в последующих сооружениях для биологической очистки удаляются оставшиеся тонкие суспензии и коллоидальные и растворённые органические загрязнения, после чего проводится обеззараживание сточных вод (дезинфекция).

Сооружения для обработки осадка располагаются также в определённой последовательности. При наличии метантенков сырой осадок из первичных отстойников сначала направляется в них для сбраживания, а затем поступает для обезвоживания на иловые площадки или на установку для механического обезвоживания. Обезвоженный осадок используется в качестве удобрения. При применении двухъярусных отстойников осадок из них направляют непосредственно на иловые площадки для подсушивания. Осадок из вторичных отстойников используется для активизации процесса биологической очистки сточных вод (циркулирующий активный ил), излишек же его (избыточный активный ил) сначала уплотняют, а потом направляют на утилизационную установку или в метантенки; нередко избыточный ил направляется в первичные отстойники.

На рис. 26 показана схема механической очистки бытовых сточных вод со следующим расположением сооружений: решетки для задержания крупных веществ органического и минерального происхождения; песколовки для выделения тяжёлых минеральных загрязнений отстойники для выделения осаждающихся веществ (главным образом органических); хлораторная установка с контактными резервуарами, в которых происходит контакт осветленной воды с хлором с целью уничтожения болезнетворных бактерий.

Осадок из отстойников направляется непосредственно на иловые площадки для подсушивания или сначала в метантенки для сбраживания; образующийся при этом газ используется для нужд очистной станции.

Сброженный осадок из метантенков направляется для обезвоживания на иловые площадки, или в иловые пруды (на небольших и средних станциях), или на вакуум-фильтры (на крупных станциях).



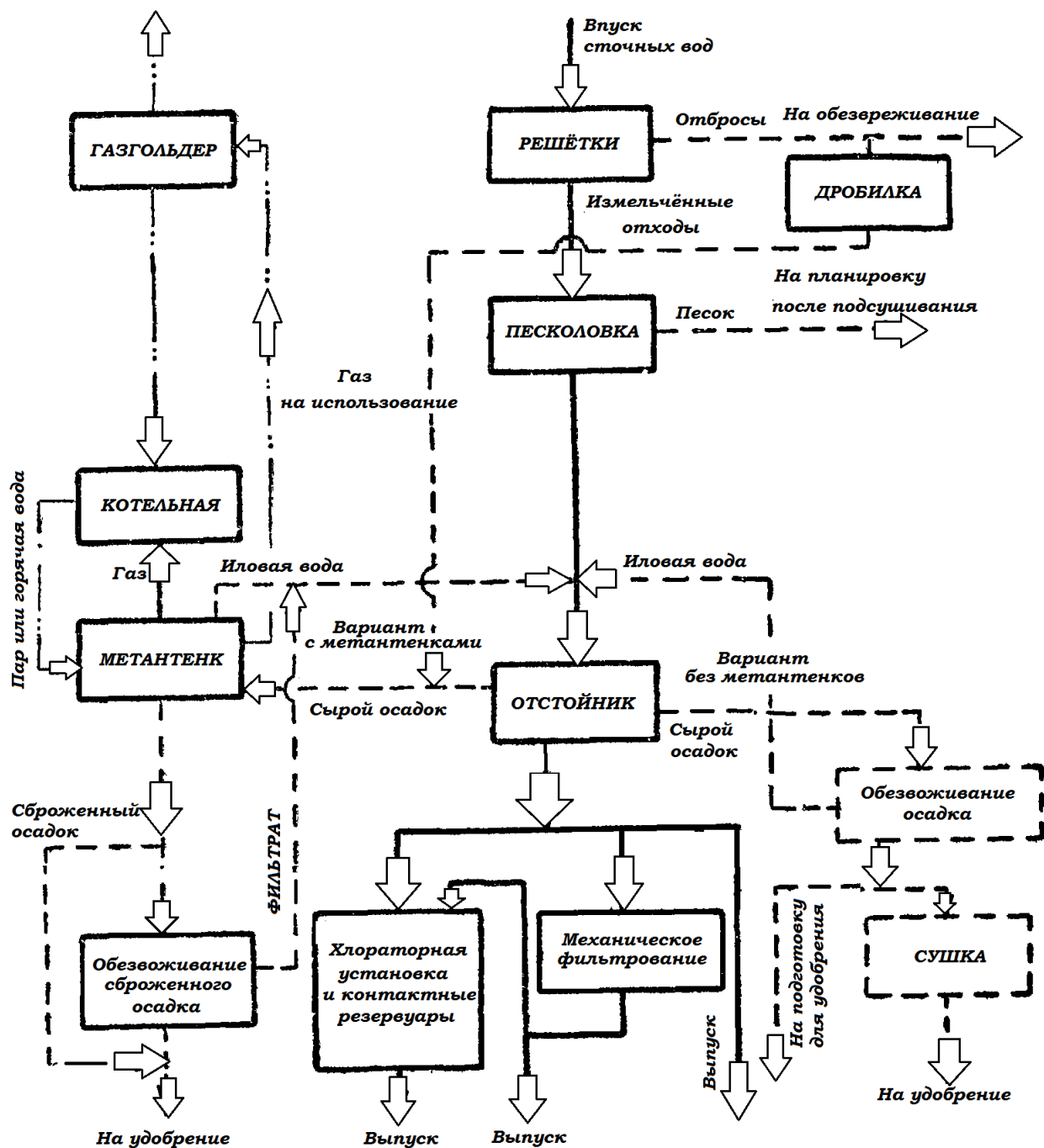


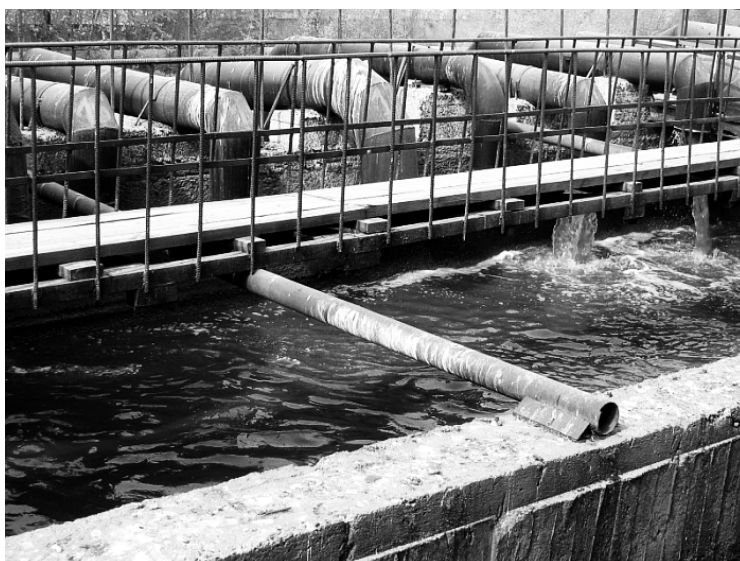
Рис. 26 – Схема механической очистки сточных вод

Обезвоженный осадок складывается в штабеля, откуда вывозится на поля для удобрения, а дренажная вода присоединяется к общему потоку сточной воды и подвергается дезинфекции. В зависимости от местных условий и объёма очищаемых вод вместо отстойников и метантенков могут применяться двухъярусные отстойники, в которых операции осветления воды и сбраживания осадка совмещены в одном сооружении.

### Эксплуатация отдельных сооружений механической и физико-химической очистки сточных вод

**Решётки.** Процеживание – первичная стадия обработки сточных вод для извлечения из них крупных нерастворимых примесей, а также более мелких волок-

нистых фракций, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе очистного оборудования (рис. 27 – приёмная камера). Для этого сточные воды пропускают через решётки (сита) и волокнуловители, которые устанавливаются перед отстойниками (рис. 28).



*Рис. 27 – Приёмная камера промышленных стоков*

Решётки могут быть неподвижными, подвижными, а также совмещёнными с дробилками. Наиболее распространены неподвижные решетки, которые изготовляют из металлических стержней с зазором между ними 5 – 25 мм и устанавливают на пути движения сточного потока вертикально или под углом 60 – 70° к горизонту. При эксплуатации решётки должны периодически или непрерывно очищаться. Механизованная очистка решёток предусматривается при более чем 0,004 м<sup>3</sup>/ч задерживаемых загрязнений, а при меньших объёмах допускается ручная очистка. Во избежание очистки решёток такие устройства созданы в форме цилиндрического барабана. Средний размер измельченных ими примесей не превышает 10 мм. Преимущество решёток-дробилок заключается в том, что они размещаются непосредственно в канале коллектора.

Решётки можно классифицировать на следующие группы:

- По ширине прозоров – на грубые с величиной прозоров от 30 до 200 мм и обычные – от 5 до 20 мм;
- В практике решётки с размерами прозоров менее 16 мм редко применяются;
- По конструктивным особенностям – на неподвижные и подвижные (поворотные, крыльчатые), периодически или непрерывно извлекаемые из сточных вод для очистки от отбросов;
- По способу очистки от отбросов – на решетки с ручной или с механизированной очисткой от отбросов.

Для удобства очистки решётки устанавливаются под некоторым углом горизонту, от 45 до 90 градусов, но чаще всего применяют угол 60 градусов, стержни иногда делают закруглёнными снизу и сверху.

Для задержания из сточных вод крупных предметов минерального и органического происхождения, попадание которых на очистные сооружения может вызвать засорение трубопроводов, лотков, каналов, поломку движущихся частей и механизмов, решётки устанавливаются перед песколовками (если сточная жидкость поступает самотеком).

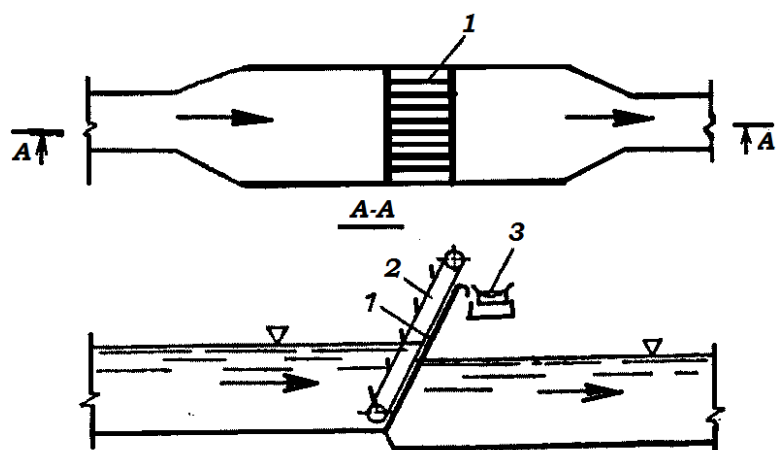


Рис. 28 – Схема механизированных решёток:  
1 – опора грабель; 2 – подвижные грабли; 3 – транспортер

Для обеспечения нормальной работы ручных решёток следует проводить регулярную их очистку. Нельзя допускать подпора жидкости в подводящем канале более 20 см.

Транспортировку отбросов от решёток, при количестве их более 0,1 куб. м в сутки, следует механизировать. При механической очистке решёток оператор должен периодически, не реже двух-трёх раз в смену, осматривать грабли и задержанные на них предметы сбрасывать специальным крючком в контейнер. Контейнер должен быть оборудован крышкой и по мере накопления отбросов в нем вывозиться в специально отведенное место для их уничтожения (захоронения).

В помещении механических решёток должна постоянно работать приточно-вытяжная вентиляция с пятикратным воздухообменом в час.

В помещении механических решёток удаление воздуха следует предусматривать в размере одной трети из верхней зоны и двух третей из нижней зоны с удалением воздуха из-под перекрытия каналов. Следует предусматривать отсосы от дробилок.

**Коагуляция** – процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия с коагулянтами, которые в воде образуют хлопья гидроксидов металлов (рис. 29). Хлопья, обладая способностью улавливать коллоидные и взвешенные частицы и агрегировать их, быстро оседают под действием силы тяжести на дно резервуара. В качестве коагулянтов обычно используют соли алюминия, железа или их смеси.

**Флокуляция** – процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых флокулянтами. При этом процесс образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа интенсифицируется для повышения скорости их осаждения. Таким образом, введение коагулянтов в сточные воды позволяет, с одной стороны, снизить массу используемых коагулянтов, а с другой – уменьшить продолжительность процесса хлопьеобразования и повысить скорость их осаждения.

Коагуляция наиболее эффективна для удаления из сточных вод эмульгированных веществ и тонкодисперсных частиц размером 1–100 мкм. Эффективность очистки может достигать 0,90–0,95.

Наибольшее применение в качестве коагулянтов получили сульфат алюминия, гидроксохлорид алюминия и хлорид железа. Их расход составляет 0,1–5,0 кг на один кубометр сточных вод.

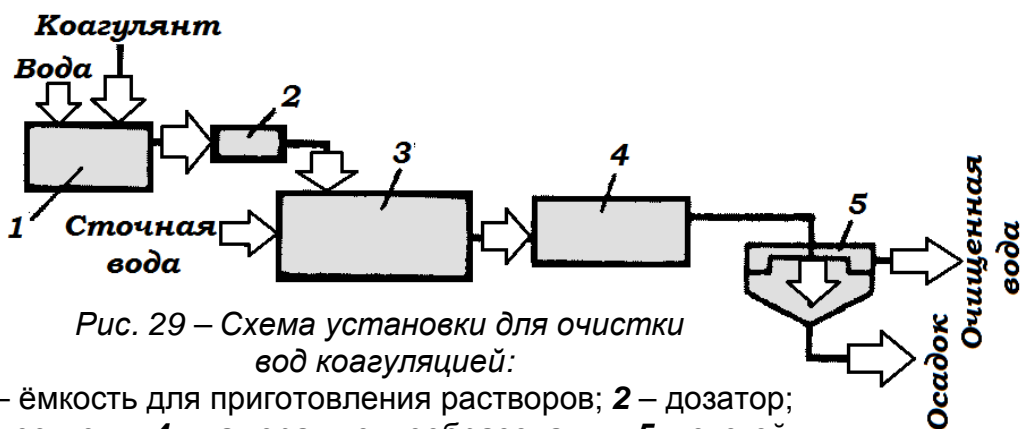


Рис. 29 – Схема установки для очистки вод коагуляцией:

1 – ёмкость для приготовления растворов; 2 – дозатор;  
3 – смеситель; 4 – камера хлопьеобразования; 5 – отстойник

**Песколовка** – это сооружение для механической очистки сточных вод, служит для выделения мелких тяжёлых минеральных частиц (песок, шлак, бой стекла и прочее) путём осаждения (рис. 30). Очистка песколовок должна проводиться гидрозлеваторами, песковыми насосами, эрлифтами и другими механизмами не реже одного раза в сутки. Песок из песколовок удаляется на песковые площадки для подсушки, после чего должен вывозиться в отвал, местоположение которого согласовывается с территориальным органом Роспотребнадзора.

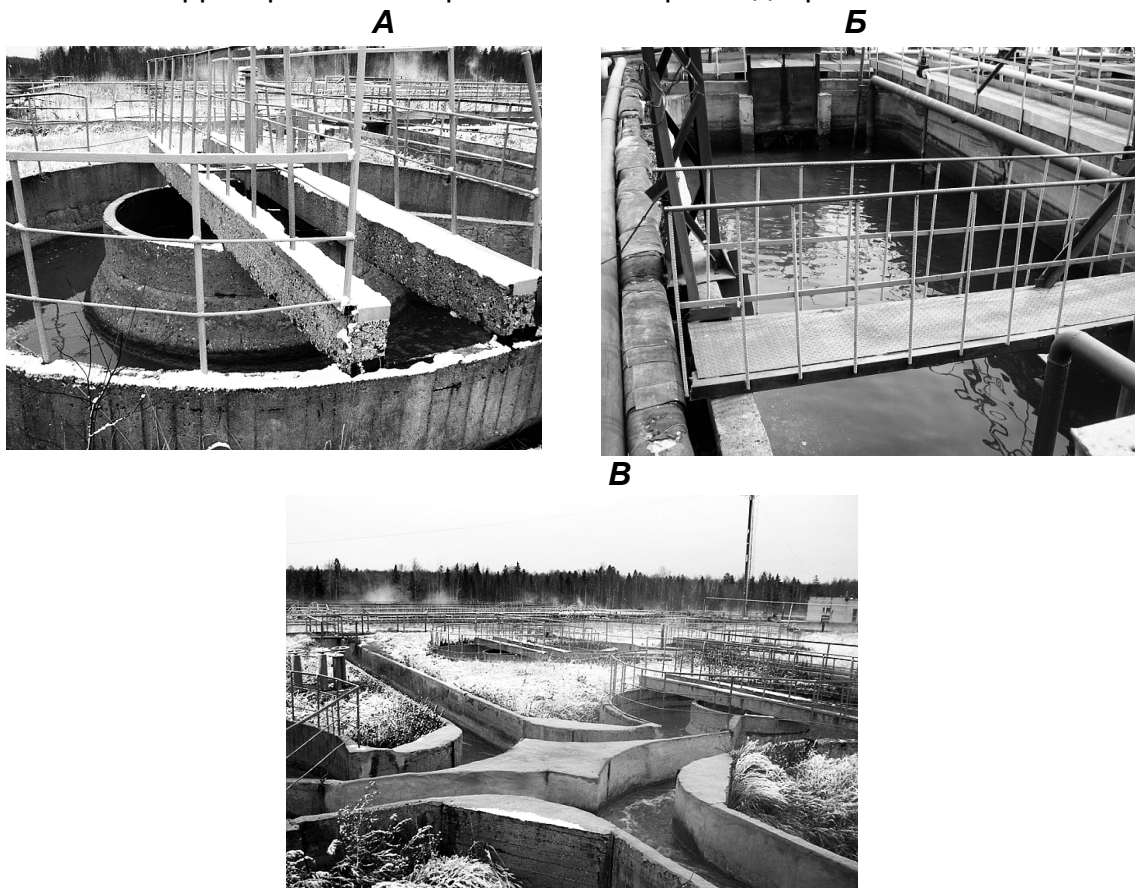


Рис. 30 – Песколовка с круговым движением воды (А), горизонтальная песколовка (Б) и разводные лотки (В)

**Гидроэлеватор** (от «гидро» и «элеватор»), насос струйного типа для подъёма и перемещения по трубопроводу жидкостей и гидросмесей. Работа его основана на использовании энергии струи поды, подводимой к насадке под напором. Проходя с большой скоростью через проточную часть гидроэлеватора. (рис. 31), струя воды создаёт при вылете из насадки перепад давления. Это вызывает поступление в смесительную камеру гидроэлеватора транспортируемого материала.

Из смесительной камеры струя рабочей жидкости увлекает образующуюся гидро- смесь в диффузор.

В диффузоре скорость движения гидросмеси снижается, но повышается её давление за счёт перехода части кинетической энергии струи в потенциальную энергию потока, чем и обеспечивается перемещение гидросмеси по трубопроводам. Гидроэлеватор не имеет движущихся частей и прост в конструктивном исполнении, но его КПД не превышает 20 – 25 %.

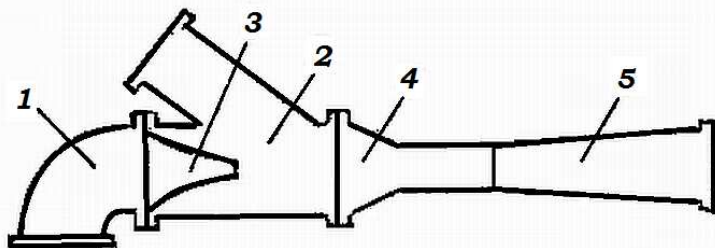


Рис. 31 – Схема гидроэлеватора:

1 – нагнетательный трубопровод; 2 – всасывающий патрубок;  
3 – сопло (насадка); 4 – смесительная камера; 5 – диффузор.

Гидроэлеватор применяется для транспортировки материалов на незначительные расстояния (до нескольких сотен метров), при гидромеханизации горных и строительных работ, для удаления шламов на обогатительных фабриках, шлака и золы в котельных и на электростанциях, для транспортировки песка и гравия.

В зимнее время года после окончания откачки песка следует освободить от пульпы пескопровод и задвижку на пескопроводе оставить открытой во избежание его размораживания.

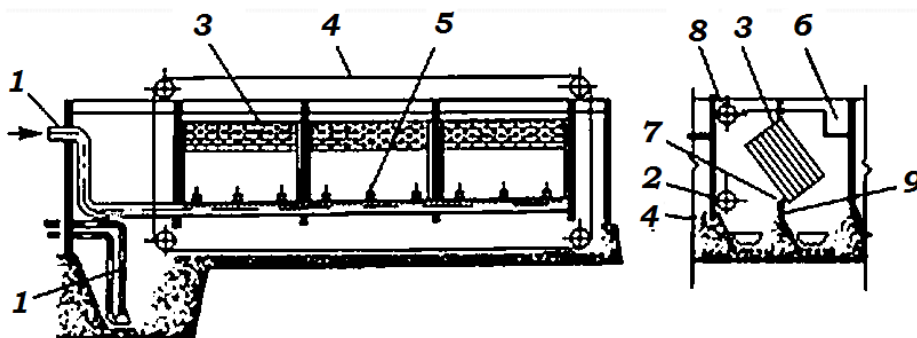


Рис. 32 – Схема многоярусного отстойника нефтеловушки с противоточным движением воды и выделенной нефти:

1 – гидроэлеватор для удаления осадка; 2 – заглубленный трубопровод для подачи загрязненной жидкости; 3 – параллельные пластины; 4 – скребковый транспортер; 5 – насадки; 6 – лоток для приема очищенной жидкости; 7 – шарнирное соединение; 8 – нефтесборная труба; 9 – перегородка

**Нефтепродуктоловушки.** Вокруг нефтепродуктоловушек должны быть установлены ограждения из несгораемых материалов высотой не менее одного метра (рис. 32). Сбор нефтепродукта в ловушке должен проводиться регулярно (не реже одного раза в смену) с помощью нефтесборных поворотных труб или специальных лотков. В ловушках следует предусматривать скребковый механизм с деревянными лопатками для сгребания осадка в приямок и подгона нефтепродуктов к нефтесборной трубе.

**Первичные отстойники и усреднители.** В зависимости от назначения в технологической схеме очистных сооружений отстойники подразделяются на пер-

вичные и вторичные. Первичные отстойники служат для предварительного осветления сточных вод (рис. 33).



*Рис. 33 – Первичный отстойник*

С целью предотвращения загнивания и выноса с очищенной жидкостью всплывающих веществ не допускается накопление их на поверхности отстойников, и они ежедневно удаляются.

Для сгона плавающих веществ к сборным устройствам, в первичных отстойниках предусматриваются специальные устройства, приспособления (полупогружная доска).

Скопившийся в первичных отстойниках осадок периодически удаляется из:

- горизонтальных и вертикальных отстойников – один-два раза в сутки;
- радиальных – один-два раза в смену.

Лотки, подводящие воду к отстойникам, сборные лотки, переливные борта должны регулярно очищаться и освобождаться от застрявших на них отбросов. Приводной механизм илососов радиальных отстойников, а также ферма и рельсовый круг должны быть надежно заземлены.

Работы по обслуживанию отстойников должны проводиться только с ограждённых площадок. Не разрешается на ходу смазывать, очищать или красить приводной механизм фермы отстойника.

Для внутреннего осмотра, чистки, ремонта отстойников, имеющих механическое оборудование, следует их опорожнять не реже чем через два-три года или по мере износа илососов. В обычных первичных отстойниках задерживается 30–50 % всех содержащихся в сточных водах нерастворённых примесей и лишь при весьма благоприятных условиях 60 %.

Для более полного осветления сточных вод принимается ряд побудительных мер. Одной из них служит предварительная кратковременная аэрация сточных вод. Аэрация производится или в каналах, подводящих воду к отстойникам, или в специально построенных для этого сооружениях – **преаэраторах** (рис. 34).

В процессе аэрации происходит флокуляция и коагуляция мельчайших частиц нерастворённых примесей в сточной воде, плотность которых мало отличается от плотности самой воды. В результате чего эти частицы изменяют свою гидравлическую крупность и быстрее оседают при последующем отстаивании.

Преаэраторы устраиваются перед первичными отстойниками и могут конструктивно с ними объединяться.

Аэрация сточных вод может производиться как без добавления к ним избыточного ила из вторичных отстойников после биофильтров или аэротенков, так и с добавлением такого ила (биокоагуляция).



*Рис. 34 – Преаэратор-усреднитель*

**Установка адгезионно-каскадной сепарации.** Метод флотации заключается в том, что воздушные пузырьки, прилипающие к нефтяным частицам, поднимают их на поверхность воды в виде пены. Последняя быстро разрушается, а слой нефти удаляется нефтесборным устройством. Воздух здесь вовлекается в сточную воду, падающую струями с высоты около шести метров.

Практическое применение получили **флотационные установки** (рис. 35) двух типов, различающиеся способом диспергирования воздуха: **1)** турбиной насосного типа и **2)** изменением давления (напорная флотация с добавлением коагулянта).



*Рис. 35 – Флотационные установки (внешний вид)*

На предприятиях Миннефтехимпрома в 1972 году флотаторы эксплуатировались на десяти предприятиях. Средний эффект очистки – 53 %. В 1973 году – на 16 предприятиях при среднем эффекте – 42,5 %.

Метод флотации нашёл применение для очистки нефтесодержащих вод на промывочно-пропарочных станциях, на речном и морском транспорте для очистки балластных и подсланевых вод и на нефтебазах.

Все наружные движущиеся части установки должны иметь жёстко закрепленные ограждения. Выпуск шлама из донных бункеров камер сепарации должен

производиться по мере их накопления осадком, но не реже одного раза в месяц.

Напорный резервуар, флотатор и баки для коагулянта следует периодически опорожнять, осматривать и очищать от осадков.

Очистку флотаторов и напорных резервуаров следует производить гидравлическим способом в установленных нормами средствах индивидуальной защиты (спецодежда, защитные очки, рукавицы, при необходимости шланговый противогаз) с соблюдением мер безопасности.

Разработанная напорная флотационная установка (рис. 36) состоит из сатуратора **1** с входным патрубком **ГВ** исходной сточной воды (грязной) и входным патрубком **В** для подачи воздуха и с размещенной внутри сатуратора магнитной насадкой, соединительного трубопровода **3** с источниками неоднородного поля (постоянными магнитами) **2**, флотокамеры **7** с входным патрубком **4**, первым блоком тонкослойного осветления **10**, имеющим на входе сетку **9**, устройством регулирования уровня жидкости **11**, фильтром **12** с решетками **13** и **14**, а также с выходным патрубком **15**.

Флотационная установка работает следующим образом. Исходная (грязная) сточная вода поступает через патрубок **ГВ** в сатуратор **1**, в котором она смешивается со сжатым воздухом, поступающим через патрубок **В** и далее проходит в соединительный трубопровод **3**, где на начальном участке подвергается воздействию магнитного поля, создаваемого магнитами **2**.

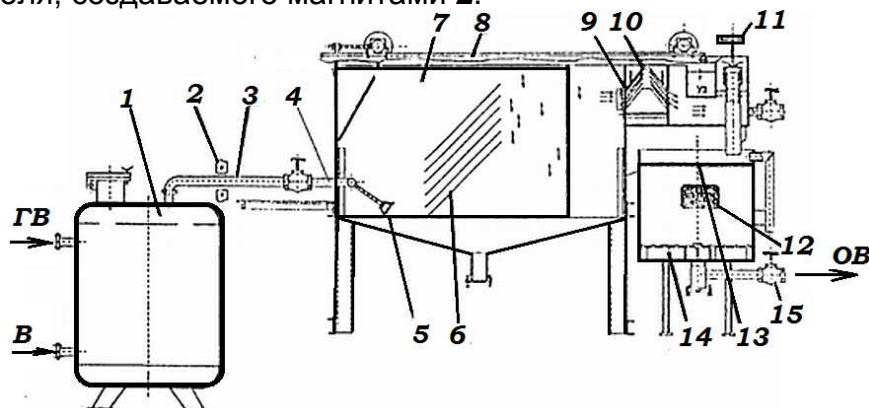


Рис. 36 – Схема напорной флотационной установки

Насыщенная воздухом вода поступает во флотокамеру **7** через входной патрубок **4** и дросселирующее устройство **5**. Из воды интенсивно выделяются пузырьки воздуха, причём непосредственно на частицах (каплях) примесей. Образующиеся флотокомплексы «частица-пузырек» всплывают, образуя пенный слой, который удаляется пеносъёмным устройством **8**. Комплексы с малой подъемной силой вместе с потоком воды попадают в первый блок **6** тонкослойного осветления, где в стесненных условиях происходит коалесценция пузырьков воздуха и вследствие этого увеличение подъемной силы этих комплексов. Далее очищаемая вода попадает во второй блок **10** тонкослойного осветления, предварительно проходя через сетку **9** с гидрофобной поверхностью, а затем через регулирующее устройство уровня жидкости **11** попадает в фильтр **12** с угольной загрузкой (АГ-3), проходя через решетку **13** с гидрофобной поверхностью, и далее через угольную загрузку выходит из установки через патрубок **15**.

### **Эксплуатация отдельных сооружений биологической очистки сточных вод**

**Аэротенки.** Сооружения для искусственной биологической очистки по признаку расположения в них активной биомассы можно разделить на две группы:



1. Активная биомасса находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии (аэротенки, окситенки);

2. Активная биомасса закрепляется на неподвижном материале, а сточная вода обтекает его тонким плёночным слоем (биофильтры).

Аэротенки представляют собой железобетонные резервуары, прямоугольные в плане, разделенные перегородками на отдельные коридоры (рис. 37).

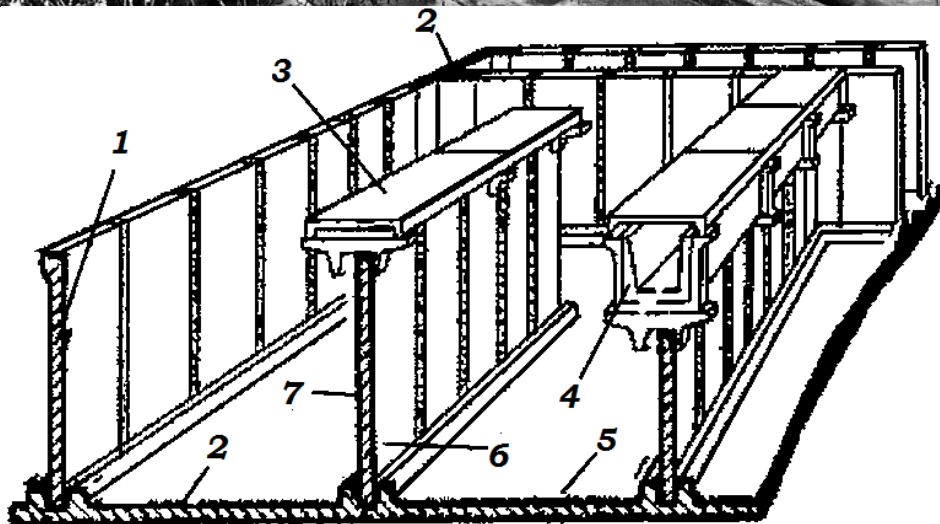


Рис. 37 – Внешний вид и схема аэротенка:

1 – стеновые панели, 2 – монолитные участки стен, 3 – мостик для прохода и прокладки трубопроводов, 4 – лоток, 5 – монолитное днище, 6 – паз в днище для заделки панелей, 7 – перегородочные панели

В общем виде аэротенки работают по следующей схеме. Сточная вода после сооружений механической очистки смешивается с возвратным активным илом (биоценозом) и, последовательно пройдя по коридорам аэротенка, поступает во вторичный отстойник. Время нахождения в аэротенке обрабатываемой сточной воды в зависимости от её состава колеблется от 6 до 12 ч. За это время основная масса органи-

ческих загрязнений перерабатывается биоценозом активного ила. Для поддержания активного ила во взвешенном состоянии, интенсивного его перемешивания и насыщения обрабатываемой смеси кислородом воздуха в аэротенках устраиваются различные системы аэрации (чаще механическая или пневматическая).

Из аэротенков смесь обработанной сточной воды и активного ила поступает во вторичный отстойник, откуда осевший на дно активный ил с помощью специальных устройств (илососов) отводится в резервуар насосной станции, а очищенная сточная вода поступает либо на дальнейшую доочистку, либо дезинфицируется. В процессе биологического окисления происходит прирост биомассы активного ила. Для создания оптимальных условий её жизнедеятельности избыток ила выводится из системы и направляется в сооружения по обработке осадка, а основная часть в виде возвратного активного ила снова возвращается в аэротенк. Концентрация иловой массы в аэротенке (доза ила по сухому веществу) составляет от двух до пяти г/л; расход воздуха 5 – 15 м<sup>3</sup> на один м<sup>3</sup> сточной воды; нагрузка по органическим загрязнениям 400 – 800 мг БПК на один грамм беззольного активного ила в сутки. При этих условиях обеспечивается полная биологическая очистка.

Комплексы очистных сооружений, в состав которых входят аэротенки, имеют производительность от нескольких десятков до двух-трёх млн м<sup>3</sup> сточных вод в сутки. Вместо воздуха для пневматической аэрации сточных вод может подаваться чистый кислород. Для такого процесса используют окситенки, несколько отличные по конструкции от аэротенков. Окислительная способность окситенков в три раза выше.

Аэротенки с механическими аэроторами должны оборудоваться площадками для обслуживания. Площадки обслуживания должны располагаться так, чтобы обслуживающий персонал в зоне брызг и капель воды не находился.

При остановке аэротенка на ремонт не допускаются прекращения подачи воздуха до полного его опорожнения, с целью предотвращения осаждения активного ила и затруднения его выгрузки. Во избежание размораживания илоприёмных труб железобетонных конструкций, перфорированных труб и прочее, опорожнение сооружений узла биологической очистки в зимнее время проводится только в исключительных случаях, с предварительной разработкой и выполнением мероприятий, исключающих размораживание.

**Биофильтры.** Биологический фильтр – сооружение для очистки сточных вод, заполненное загрузочным материалом, через который фильтруется сточная вода и на поверхности которого развивается биологическая пленка. Разница температур между сточными водами и воздухом гарантирует непрерывную вентиляцию атмосферного воздуха через загрузку фильтра, обеспечивая постоянно достаточную для жизнедеятельности микроорганизмов концентрацию кислорода.

Важнейшая составная часть биофильтра – загрузочный материал. По типу загрузочного материала биофильтры делят на две категории: **1)** с объёмной загрузкой и **2)** с плоскостной. В биологических фильтрах с объёмной загрузкой используют щебень прочных горных пород, гальку, шлак, керамзит, а в фильтрах с плоскостной загрузкой – пластмассы, способные выдерживать температуру 6 – 30 °С без потери прочности.

Биологические фильтры (рис.38) представляют собой резервуары, заполненные твёрдым кусковым материалом (шлак, кокс, щебёнка, керамзит), через который фильтруется поступающая на поверхность загрузки сточная вода.

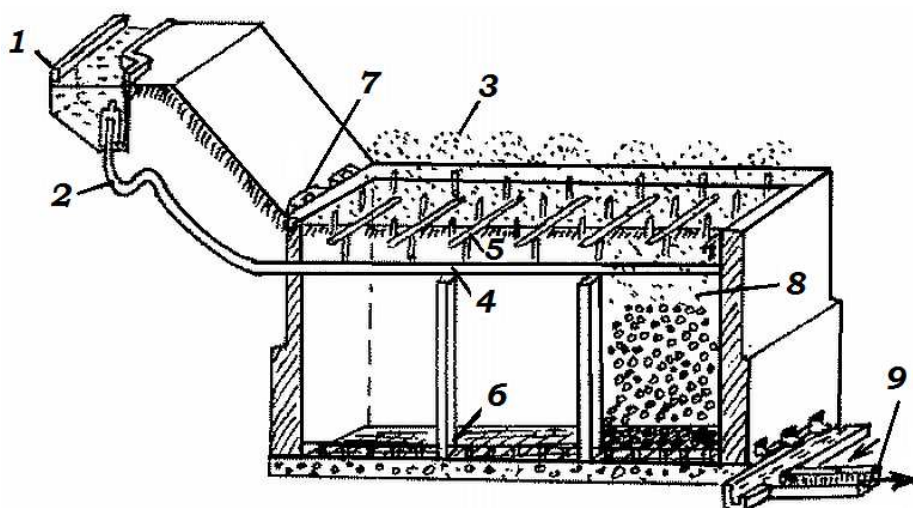


Рис. 38 – Схема биологического фильтра:

- 1 – дозирующий бак; 2 – сифон; 3 – спринклер; 4 – магистральная труба;  
 5 – распределительные трубы; 6 – дренаж из плиток;  
 7 – каналы для входа воздуха в дренаж; 8 – загрузка фильтра (щебень);  
 9 – канал для отвода очищенной воды

Поверхность всех частиц загрузки покрывается сплошной биологической пленкой за счёт адсорбции микробов из сточной воды и последующего их размножения. Биологическая пленка играет роль основного активного агента в очистке воды.

### Эксплуатация отдельных вспомогательных сооружений

**Хлораторные, расходные склады хлора и хлорной извести.** Очищенные сточные воды перед спуском в водоём необходимо обеззаразить водным раствором хлора. В отдельных случаях допускается производить обеззараживание хлорной известью.

Хлор – это сильнодействующее ядовитое вещество. Предельно допустимая его концентрация (ПДК) в воздухе – один мг/м<sup>3</sup>. Газообразный хлор в 2,5 раза тяжелее воздуха, поэтому он скапливается внизу помещения, в низких местах и медленно рассеивается в воздухе.

В настоящее время основным способом обеззараживания воды является обработка её жидким хлором. Достоинствами данного способа являются его хорошая изученность и проработанность, наличие широкого ассортимента серийно выпускаемого оборудования, относительная простота аппаратного оформления процесса хлорирования.

Из всех перечисленных выше способов обеззараживания консервирующий эффект обеспечивается только применением хлора и хлорсодержащих веществ (хлорагентов). При хлорировании грязной воды, содержащей в значительных концентрациях органику, существует опасность образования токсичных и канцерогенных веществ. Во избежание этой опасности очищенную воду хлорируют, а при первичном хлорировании уменьшают дозы хлора и время прохождения хлорированной воды в очистные сооружения.

Хлор, находящийся в воде в виде  $Cl_2$ ,  $HClO$ ,  $ClO^-$ , называется *свободным хлором*, связанный в хлорамины  $NH_2Cl$  и  $NHCl_2$  – *связанным хлором*. Сумма свободного и связанного хлора называется *активным хлором*.

Количество активного хлора, оставшееся в воде после завершения обеззараживания и реакций окисления, называется *остаточным хлором*. Санитарными

правилами и нормами величина остаточного свободного хлора регламентируется в пределах 0,3–0,5 мг/л, остаточного связанного в пределах 0,8–1,2 мг/л, при времени контакта с водой свободного хлора не менее 30, связанного хлора – не менее 60 минут.

Дозу активного хлора для обеззараживания воды следует устанавливать на основании данных технологических изысканий. При их отсутствии для предварительных расчётов следует принимать дозу хлора для поверхностных вод после фильтрования 2–3 мг/л, для вод подземных источников – 0,7–1 мг/л.

На водопроводную станцию жидкий (сжиженный) хлор доставляется в металлических сосудах: баллонах или контейнерах. На станции производится хранение, испарение хлора, приготовление хлорной воды и дозирование её в обрабатываемую воду.

**Хранение хлора** проводится в транспортной таре, которая после использования возвращается на завод-изготовитель. При небольших расходах хлора используют баллоны, в России применяются обычно баллоны емкостью 40 и 50 л, их вместимость по хлору составляет 50 и 62 кг. Ёмкость хлорного контейнера составляет 800 л (около 1000 кг жидкого хлора).

Хранение хлора проводится в специальном помещении – расходном складе, обычно примыкающем к зданию хлораторной, но отделяемом от остальных помещений глухой стеной без проёмов.

Для растворения хлора в воде его предварительно превращают в газ – испаряют. Испарение хлора проводится в транспортной таре (баллонах или контейнерах) или в специальных устройствах – испарителях.

*Испарители* рекомендуются при расходе хлора более 15 кг/ч и всегда используют при расходе более 100 кг/ч.

Принципиальная схема хлораторной с испарением хлора в транспортных сосудах приведена на рис. 39 «а», а с применением испарителей – на рис. 39 «б». На рисунках показано только основное оборудование. В приведенных примерах склад хлора примыкает к хлор-дозаторной. Баллоны или контейнеры хранятся на складе, два из них используются для получения хлор-газа и располагаются на весах для контроля за расходом хлора, каждый сосуд находится на своих весах.

В схеме с испарением в сосудах (рис. 39, «а») в хлордозаторную поступает хлоргаз. Далее хлоргаз проходит баллон-грязевик и фильтр, где происходит отделение от газа капель хлора и прочих примесей. Очищенный хлор поступает в дозатор хлора, откуда отсасывается с помощью эжектора. В эжекторе и далее в трубопроводе происходит смешение и растворение хлора, полученная хлорная вода вводится в обрабатываемую воду в точки, предусмотренные технологией очистных сооружений. В схеме на рис. 39 «б» жидкий хлор из сосудов под давлением поступает в испаритель, где превращается в хлор-газ.

Хлораторы служат для дозировки газообразного хлора, смешения его с водой и подачи хлорной воды к месту потребления. По характеру работы хлораторы подразделяются на аппараты постоянного и периодического действия, по принципу действия – вакуумные.

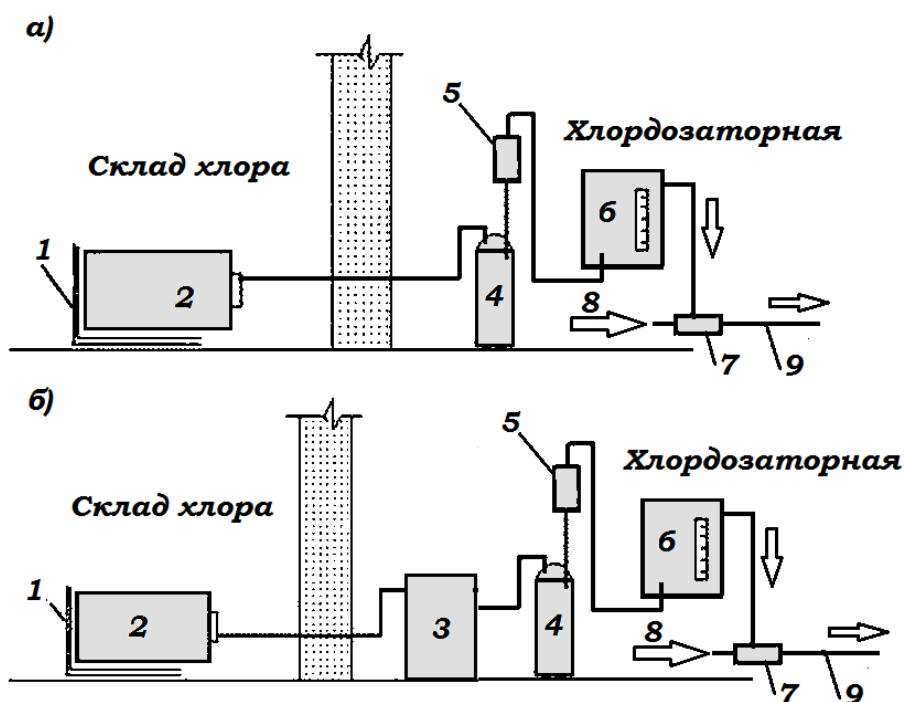


Рис. 39 – Принципиальные схемы хлораторных:  
**а** – с испарением хлора в сосудах; **б** – с применением испарителей;  
**1** – весы; **2** – контейнеры с хлором (баллоны); **3** – испаритель;  
**4** – промежуточный баллон-грязевик; **5** – фильтр; **6** – хлоратор; **7** – эжектор;  
**8** – вода для работы эжектора; **9** – хлорная вода

В России выпускаются и применяются хлораторы вакуумного типа ЛОНИИ-100КМ, АХВ-1000 и ХВ-1, по своим конструкционным решениям аналогичные хлораторам ЛОНИИ-100 КМ (табл. 7).

Таблица 7

Технические характеристики хлораторов

Характеристики	Типы хлораторов		
	ЛОНИИ-100КМ	АХВ-1000	ХВ-1
Пределы регулирования производительности по хлору, кг/ч	2,05–12,8	1,0–12,8	1,5–10
Давление рабочей воды на входе эжектора, МПа	0,4–0,5	0,2	0,6
Давление хлора (газа) на входе хлоратора, МПа, не более	0,1–0,4	0,6	0,8
Рабочее разрежение в хлораторе не более, кПа	5	-	-
Расход рабочей воды при максимальном давлении воды на входе в эжектор, м <sup>3</sup> /час	4,2	-	4,0
Масса не более, кг	18	25	10
Габаритные размеры, мм: высота	220	20	380
длина	100	250	250
ширина	190	670	670

**Принципы проектирования хлораторных.** Хлораторные должны размещаться в отдельно стоящих капитальных зданиях второй степени огнестойкости. Хлораторная обычно состоит из блоков помещений: расходного склада хлора, хлордозаторной, вентиляционной камеры, вспомогательных и бытовых помещений. Вокруг склада хлора и хлораторной со складом хлора должно быть сплошное

глухое ограждение, высотой не менее двух метров, с глухими плотно закрывающимися воротами для ограничения распространения газовой волны и исключения доступа посторонних лиц на территорию склада. Вместимость расходного склада хлора должна быть минимальной и не превышать 15-суточного потребления водопроводной станцией.

Радиус опасной зоны (в м), в пределах которой не допускается располагать объекты жилищного и культурно-бытового назначения, составляет для складов хлора в баллонах 150, в контейнерах – 500. Хлораторные должны располагаться в пониженных местах площадки водопроводных сооружений и преимущественно с подветренной стороны преобладающих направлений ветров относительно ближайших населенных пунктов (кварталов).

Расходный склад хлора следует отделять от других помещений глухой стеной без проёмов, в складе должно быть два выхода с противоположных сторон помещения. Один из выходов оборудуется воротами для транспортирования баллонов или контейнеров. Въезд автомобилей в помещение склада не допускается, должно быть предусмотрено грузоподъемное оборудование для транспорта сосудов с кузова автомобиля на склад. Порожнюю тару надлежит хранить в помещении склада. Двери и ворота во всех помещениях хлораторной должны открываться по ходу эвакуации. На выходах из склада предусматриваются стационарные водяные завесы. Сосуды с хлором должны размещаться на подставках или рамках, иметь свободный доступ для строповки и захвата при транспортировании. В помещении склада хлора располагается оборудование для нейтрализации аварийных выбросов хлора.

Хлордозаторные размещать в заглублённых помещениях не допускается, от других помещений они должны быть отделены глухой стеной без проёмов и снабжены двумя выходами наружу, при этом один из них через тамбур. Вспомогательные помещения хлораторных должны быть изолированы от помещений, связанных с применением хлора и иметь самостоятельный выход.

Хлораторные оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией. Выброс воздуха постоянно действующей вентиляцией из помещения хлордозаторной надлежит осуществлять через трубу высотой на два метра выше конька кровли самого высокого здания, находящегося в радиусе 15 м, а постоянно действующей и аварийной вентиляцией из расходного склада хлора – через трубу высотой 15 м от уровня земли.

По каждому объекту, использующему хлор, необходимо вести журнал учёта расхода и поступления хлора, журналы проверок хлорного хозяйства, выполнения графика планово-предупредительного ремонта, а также проведения тренировочных занятий по обслуживанию хлорного оборудования и локализации аварийных ситуаций.

Хлораторные должны быть оборудованы двумя выходами: один через тамбур, другой непосредственно наружу. Двери должны открываться наружу.

Хлораторные и расходные склады должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, рабочей с шестикратным воздухообменом в час и аварийной с 12-кратным воздухообменом в час, включающейся от газоанализатора на превышение ПДК в рабочей зоне. Выброской воздух от аварийной вентиляции должен проходить очистку от хлора дегазационным раствором (растворами щелочи или известковым молоком). При включении аварийной вентиляции рабочая вентиляция должна автоматически отключаться.

Вентиляционные каналы хлораторной и расходного склада хлора не должны сообщаться с вентиляционными системами других помещений.

Хлораторные должны иметь аварийное электрическое освещение, питаемое от автономного источника электроэнергии с установкой светильников в тамбуре и

снаружи. Ручное включение вентиляции и освещения следует предусматривать вне помещения хлораторной.

**Реагентное хозяйство.** Для хранения сыпучих реагентов должно быть предусмотрено одноэтажное закрытое складское помещение. Дверные проёмы складов сыпучих реагентов, предназначенные для приёма и выдачи реагентов, по окончании их использования должны быть плотно закрыты.

Реагенты хранят в соответствующей таре и в установленном для каждого их вида порядке таким образом, чтобы исключить возможность вредного воздействия на людей и конструкции сооружений.

Хранение коагулянта навалом допускается при высоте слоя не более двух, а извести – не более 1,5 метров. При механизации погрузочно-разгрузочных работ высота слоя может быть увеличена на один метр. При хранении реагентов в барабанах, бочках высота их размещения должна быть не более 2,5, а в мешках – не более 2,0–3,5 м.

Транспортирование сыпучих реагентов должно осуществляться в специальных автомобилях, в уплотненных кузовах. При перевозке в открытых кузовах следует покрывать их брезентом. Приготовление растворов реагентов производится в растворных баках, которые должны располагаться рядом со складом, в изолированном помещении, снабжённом вытяжной вентиляцией.

При загрузке пылевидного коагулянта в растворные баки забор его целесообразно производить вакуумными установками.

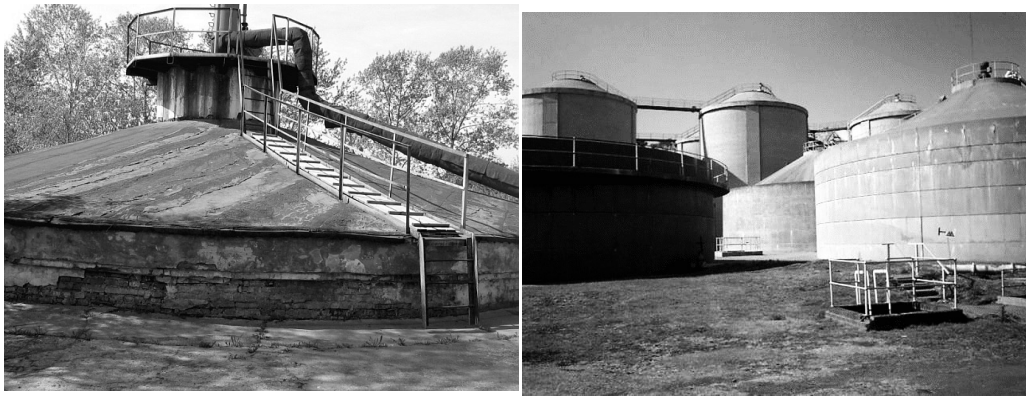
Для растворения реагента и перемешивания раствора в баках необходимо предусматривать подачу сжатого воздуха давлением не выше 0,05 МПа. Допускается применение механических мешалок или циркуляционных насосов.

Работы, связанные с загрузкой, выгрузкой и приготовлением раствора коагулянта, биогенных добавок, извести и других реагентов, должны проводиться в установленных нормах средствах индивидуальной защиты. После окончания работы спецодежда должна быть обеспылена, а рабочие должны принять тёплый душ. При работе в респираторе через каждые 30 минут работающий должен делать перерыв на отдых, сняв при этом респиратор.

При попадании пыли негашеной извести через дыхательные пути пострадавшему необходимо провести ингаляцию водяными парами (предварительно добавить к воде несколько кристалликов лимонной кислоты). При ожогах кожи следует провести удаление кусочков извести минеральным или растительным маслом, затем делать примочки пятипроцентным раствором лимонной кислоты. При попадании в глаза срочно промыть открытый глаз струей воды.

**Метантенки.** Метантенк (или метантанк) служит одним из важных элементов очистных сооружений (рис. 40). В отличие от аэротенков в них поступает, как правило, не сама сточная жидкость, а концентрированный осадок, выпадающий в отстойниках. Для малых количеств сточной жидкости (как правило, до 25 м<sup>3</sup> в сутки) обычно применяют септики, для средних количеств (до 10 000 м<sup>3</sup> в сутки) – двухъярусные отстойники.

Конструктивно метантенк представляет собой цилиндрический или реже прямоугольный резервуар, который может быть полностью или частично заглублен в землю. Днище метантенка имеет значительный уклон к центру. Кровля метантенка может быть жёсткая или плавающая. В устройствах с плавающей кровлей снижается опасность повышения давления во внутреннем объёме. Стенки и днище метантенка выполняются, как правило, из железобетона.



*Рис. 40 – Внешний вид метантенков*

Для сбраживания и предварительного обезвоживания осадков из первичных отстойников, избыточного активного ила из аэротенков, биопленки с биофильтров применяются метантенки (активный ил, образующийся при биохимической очистке промстоков, практически не сбраживается).

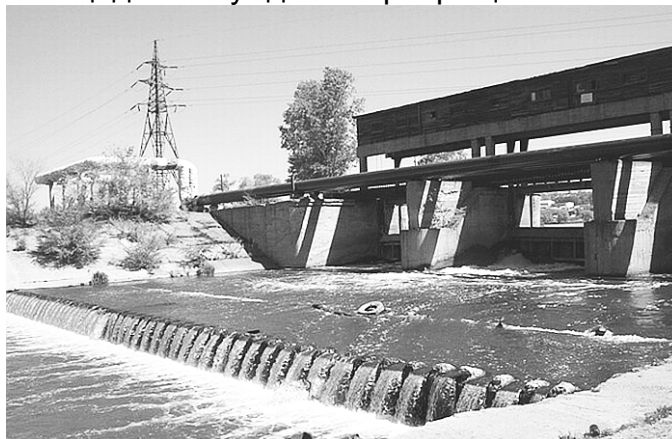
Допускается подача в метантенки и других осадков: отбросы с решёток, промышленные отбросы органического происхождения и прочие отходы.

**Метан** – горючий газ, образующийся при сбраживании осадков сточных вод в метантенках, не имеет сильного запаха и в два раза легче воздуха. Наиболее опасно образование взрывающейся смеси при соотношении один объёма метана на 5–15 объёмов воздуха. Независимо от общего ограждения территории очистных сооружений площадка метантенков должна иметь ограждение не ближе десяти метров от стен метантенка. В зоне радиусом пять метров от горловины метантенков, люков-лазов и открытых камер выгрузки в период работы метантенков запрещается курить, производить огневые работы, связанные с искрообразованием.

**Иловые площадки.** Наиболее простым и распространенным способом обезвоживания жидкого осадка сточных вод является его сушка на иловых площадках (рис. 41). Иловые площадки предназначены для естественного обезвоживания осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточной воды.

Они представляют собой спланированные дренированные участки на естественном или искусственном основании, окруженные со всех сторон земляными валиками высотой до 1,5, шириной по верху не менее 0,7 м и системой дренажа.

При сравнительно простой технологии и низких затратах на эксплуатацию иловые площадки обеспечивают чрезвычайно низкий эффект обезвоживания особенно в районах с большим количеством выпадающих осадков. К таким районам относится большая часть территории России, где для длительного хранения жидкого осадка иловые площадки вынужденно превращаются в илонакопители.



*Рис. 41 – Иловые площадки*



Но даже в эпоху интенсивного внедрения сооружений механического обезвоживания осадка, иловые площадки служат самым распространенным в России методом обезвоживания осадка. В настоящее время на иловых площадках обрабатывается 90% всего осадка. Привлекательность этих сооружений объясняется простотой инженерного обеспечения и лёгкостью эксплуатации по сравнению с фильтр-прессами, вакуум-фильтрами, сушильными установками.

**Иловые площадки на естественном основании с дренажом.** Иловые площадки на естественном основании проектируются на хорошо фильтрующих грунтах при залегании грунтовых вод на глубине не менее 1,5 м от поверхности карт и только тогда, когда допускается фильтрация иловой воды в грунт. Если глубина залегания грунтовых вод меньше 1,5 м, то необходимо понижение их уровня. Целесообразно строить площадки размером 100•100 м. Дальность разлива осадка с влажностью 93–95 % может составлять 20–25 м, в этом случае ширина карт будет ограничена 40–50 м при двустороннем напуске. Узкие площадки предпочтительнее при планировке на территории с хорошо выраженным уклоном.

На плотных и водонепроницаемых грунтах иловые площадки устраиваются на естественном основании с трубчатым дренажом, укладываемым в дренажные каналы. Искусственное основание иловых площадок должно составлять не менее десяти процентов их площади. На иловых площадках устраиваются дороги с пандусами для съезда на карты автотранспорта и средств механизации.

Наибольшее распространение получили иловые площадки на естественном основании каскадного типа с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды. После заполнения карт иловой площадки осадком и слива отделившейся иловой воды дальнейшее обезвоживание осадка осуществляется путём испарения с поверхности оставшейся влаги.

Одним из возможных методов, ускоряющих естественную сушку осадка на иловых площадках, служит процесс **ворошения**. При этом удаляется растительный покров и разрушается поверхностная корка, что способствует ускоренному подсушиванию осадка в теплое сухое время и более глубокому промораживанию в зимнее. Иловые площадки интенсивного обезвоживания и сушки можно подразделить на традиционные и усовершенствованные. К первой категории относятся иловые площадки с вертикальным и горизонтальным дренажом, ко второй – площадки с созданием вакуума в дренажной системе, искусственным водонепроницаемым покрытием с продувкой воздухом, нагревом.

**Песковые площадки.** В зависимости от степени использования природных процессов площадки можно разделить на две основные категории: естественного обезвоживания и сушки и интенсивного обезвоживания и сушки.

Ко второй категории относятся площадки, в которых определённые факторы природного цикла видоизменены и интенсифицированы. Как правило, это площадки с искусственным дренажом, подогревом, созданием вакуума в дренажной системе, искусственным водонепроницаемым покрытием. Применение того или иного вида площадок зависит от местных условий: специфики климата, наличия дополнительных источников энергии и свободных площадей.

К первой категории относятся площадки, в которых используются природные процессы испарения и декантации без существенного изменения, по сравнению с теми же процессами, происходящими в естественной среде. Как правило, это площадки на естественном основании с поверхностным отводом воды и площадки-уплотнители.

**Шламонакопители.** Выбор места шламонакопителя следует согласовывать с территориальным органом Роспотребнадзора. Шламонакопители (рис. 42) должны иметь дренажные устройства, которые обеспечивали бы защиту почвы и водоёмов от загрязнения водами, выделяющимися из шлама.



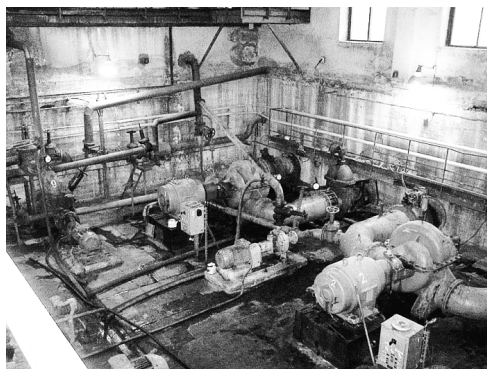
*Рис. 42 – Шламонакопитель*

После заполнения шламонакопителя до проектной отметки следует его законсервировать без загрязнения окружающей среды. Поверхность шламонакопителя, его откосы и гребни следует засыпать щебнем, гравием, слоем, толщиной 15–20 см, растительным фунтом и засеять многолетними травами.

Законсервированные шламонакопители никогда нельзя оставлять без присмотра, особенно в весенний паводок.

**Эксплуатация насосных станций.** Контроль над работой агрегатов в заглубленных насосных станциях (рис. 43) должен осуществляться дистанционно без постоянного пребывания в них обслуживающего персонала.

Стены заглубленной части здания насосной должны быть гидроизолированы на высоту не менее 0,5 м выше планировочной отметки надземной части насосной. С отметки пола насосной должна быть предусмотрена самотечная канализация, которая должна быть в постоянной готовности. В случае ограниченной пропускной способности самотечной канализации или невозможности подключения её к отметке пола насосной необходимо установить специальный насос производительностью, обеспечивающей максимально возможное поступление воды в насосную.



*Рис. 43 – Общий вид помещения насосной станции*

При этом электродвигатель насоса располагается выше отметки планировки у здания насосной и пуск его должен осуществляться автоматически в зависимости от уровня воды в насосной.

На случай аварийного затопления насосной станции следует предусматривать автоматическое отключение основных насосных агрегатов. Звуковые и световые сигналы сигнализаторов должны быть выведены на щит КИПиА.

При аварийном затоплении насосной станции она должна быть обесточена с соблюдением аварийного режима. Электродвигатели и другое электрическое оборудование в заглубленных насосных станциях должны быть в специальном испол-

нении, соответствующем среде и классу помещения насосной.

Напорные и всасывающие трубопроводы иловых насосов должны иметь устройства для промывки их водой. Промывку целесообразно осуществлять водой из системы технического водоснабжения, создающего давление, в два раза превышающее напор иловых насосов.

В помещениях насосных, где производится перекачка кислоты, щелочи или других реагентов и где возможны ожоги обслуживающего персонала, необходимо наличие аварийного душа с автоматическим включением.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Укажите три основные группы загрязнений Мирового океана.
2. Кратко охарактеризуйте особенности загрязнения Мирового океана нефтью и нефтепродуктами.
3. Как подразделяется вода по целевому назначению?
4. В чём смысловая нагрузка терминов «водопользование» и «водопотребление»?
5. Назовите основные способы утилизации жидких отходов химической промышленности.
6. Назначение, устройство и принцип работы форсунки для распыливания жидких отходов.
7. Назначение, устройство и принцип работы камерной топки Лурги.
8. Назначение, устройство и принцип работы циклонной топки Лодби.
9. Назначение, устройство и принцип работы установки надслоевого сжигания горючих отходов.
10. Назначение, устройство и принцип работы барабанной сушилки.
11. Назначение, устройство и принцип работы однокамерной сушилки с кипящим слоем.
12. Назначение, устройство и принцип работы распылительной сушильной установки.
13. Назначение, устройство и принцип работы вакуум-фильтра.
14. Назначение, устройство и принцип работы пресс-фильтра.
15. Назначение, устройство и принцип работы центрифуги шнекового типа.
16. Какие существуют методы очистки сточных вод?
17. Кратко укажите весь комплекс устройств для очистки сточных вод.
18. Назначение, устройство и принцип работы решёток.
19. Что понимается под коагуляцией и флокуляцией?
20. Назначение, устройство и принцип работы гидроэлеватора.
21. Что такое песколовка? Её разновидности.
22. Что такое преаэратор и для чего он используется?
23. В чём заключается метод флотации?
24. Назначение, устройство и принцип работы напорной флотационной установки.
25. Что такое аэротенки и каково их назначение?
26. Сформулируйте определение биологическому фильтру и поясните принцип его работы.
27. Укажите вспомогательные сооружения для очистки сточных вод.
28. Что такое метантенки и для чего они используются?

## РАЗДЕЛ 5. ЗАЩИТА ЛИТОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

---

### УПРАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ

#### Нормативная правовая база обращения с отходами и их классификация

Во всем мире одной из наиболее актуальных является проблема рационального обращения с отходами, в связи с чем во всех развитых странах принимаются специальные законодательные акты, регулирующие комплексное управление отходами (сбор, транспортирование, сортировка, обезвреживание, переработка, утилизация, ликвидация, захоронение, требования к местам складирования, правила маркировки и хранения и другое), представляющими опасность для здоровья человека и окружающей среды, от которой зависит жизнь на планете. Принципы и методы законодательного регулирования предотвращения загрязнения окружающей среды отходами в разных странах различны, нормативные акты и законы различаются по степени строгости обращения с отходами (ограничения на выбросы), степени содействия предпринимателям в переработке отходов и создании малоотходных и экономичных технологий, по требованиям вторичного использования отходов и максимально возможной утилизации ценных компонентов, содержащихся в отходах, по регламентации контроля состава и свойств отходов и прочему.

В законодательстве ряда стран главной целью деятельности государства признана охрана окружающей среды, а вопросы охраны природы включены в конституцию; естественно, в таких странах очень строго контролируется выполнение законов, устанавливающих правила сбора, переработки и уменьшения количества отходов как основных источников загрязнения природной среды. Поскольку нормирование выбросов во времени ужесточается, промышленники вынуждены постоянно увеличивать затраты на мероприятия по контролю вредных выбросов при производстве промышленной продукции, на закупку и установку очистного оборудования, создание малоотходного производства, а также на оплату услуг за сбор, удаление и захоронение отходов.

#### Российская нормативная правовая база обращения с отходами

В России нормативная правовая база охраны окружающей среды определяется Конституцией РФ, федеральными законами, нормативными актами, постановлениями правительства, указами президента, санитарными, строительными нормами и правилами.

Все граждане Российской Федерации имеют конституционное право на благоприятную окружающую среду. Охрана окружающей среды и обеспечение экологической безопасности регламентируются федеральными законами РФ.

**Федеральный закон «Об охране окружающей среды»** определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, являющейся основой жизни на Земле.

Закон призван способствовать формированию и укреплению экологической безопасности и устойчивого развития на территории РФ, сохранению биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений.

В соответствии с Законом одним из основных принципов охраны окружаю-

щей среды при осуществлении (или планировании) хозяйственной деятельности служит научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства. Закон регламентирует обязательное проведение государственной экологической экспертизы проектов и иной документации, обосновывающих хозяйственную и другую деятельность, которая может оказать негативное воздействие на окружающую среду, создать угрозу жизни, здоровью и имуществу граждан. Таким образом, речь идёт о предотвращении экологически вредного воздействия хозяйственной деятельности на природную среду и здоровье человека. Проекты, по которым отсутствуют положительные заключения государственной экологической экспертизы, не подлежат утверждению. Экологический контроль над объектами хозяйственной деятельности осуществляют органы государственной власти РФ или субъектов РФ. При этом населению должна предоставляться достоверная информация о состоянии окружающей среды, мерах по её охране и фактах хозяйственной деятельности, создающих угрозу окружающей среде, жизни, здоровью и имуществу граждан.

Одним из методов экономического регулирования в области охраны окружающей среды, предусмотренных Законом, является плата за негативное воздействие на окружающую среду. К видам негативного воздействия на окружающую среду относятся: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы загрязняющих веществ в водные объекты (поверхностные и подземные) и на водосборные площади, размещение отходов производства и потребления и другое.

Немаловажно, что государство поддерживает предпринимательскую деятельность, осуществляемую в целях охраны окружающей среды, посредством установления налоговых и других льгот (в соответствии с законодательством).

В целях предотвращения негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду Закон предусматривает установление нормативов допустимого воздействия на окружающую среду (нормативы допустимых выбросов и сбросов, нормативы образования отходов и лимиты на их размещение, некоторые другие нормативы); запрещает ввод в эксплуатацию объектов, не оснащённых техническими средствами и технологиями обезвреживания и безопасного размещения отходов производства и потребления, обезвреживания выбросов и сбросов загрязняющих веществ до уровня предельно допустимых нормативов, а также объектов, не оснащённых средствами контроля за загрязнением окружающей среды.

Для обеспечения экологически безопасного осуществления хозяйственной деятельности на территории РФ проводится экологическая сертификация – обязательная или добровольная (обязательность определяется порядком, установленным Правительством РФ).

**Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»** регулирует общественные отношения в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Закон регламентирует санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы, устанавливающие критерии безопасности и безвредности жизнедеятельности человека.

В соответствии с Законом все предприятия обязаны осуществлять производственный контроль над выполнением санитарных правил. В случае несоблюдения санитарных правил может быть приостановлена эксплуатация действующих предприятий, прекращены работы по проектированию и строительству новых объектов. Закон регламентирует санитарные требования к порядку, условиям и способам сбора, использования, обезвреживания, транспортирования, хранения и захоронения отходов производства и потребления, которые также должны устанавливаться органами местного самоуправления и иметь санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии указанного порядка санитарным правилам.

**Федеральный закон «Об экологической экспертизе»** регламентирует от-

ношения в области экологической экспертизы и направлен на решение вопросов охраны окружающей среды посредством предупреждения негативного воздействия на нее хозяйственной деятельности.

Экологическая экспертиза устанавливает:

➤ соответствие намечаемой хозяйственной деятельности экологическим требованиям;

➤ допустимость реализации объекта экологической экспертизы (на основе оценки последствий реализации объекта с точки зрения воздействия на окружающую среду).

Основные объекты экологической экспертизы:

➤ проекты правовых актов, реализация которых может привести к негативным воздействиям на окружающую природную среду;

➤ проекты комплексных и целевых социально-экономических, научно-технических и иных программ, при реализации которых может быть оказано воздействие на окружающую природную среду;

➤ технико-экономические обоснования и проекты строительства, реконструкции, расширения и технического перевооружения объектов хозяйственной деятельности (в том числе проекты международных договоров, проекты технической документации на новые технику, технологию, материалы, вещества, сертифицируемые товары и услуги).

В России различают два вида экологической экспертизы – государственную и общественную. Первую организуют и проводят на федеральном уровне и уровне субъектов РФ. Экспертная комиссия подготавливает заключение – документ, содержащий обоснованные выводы о допустимости воздействия на окружающую природную среду соответствующей хозяйственной деятельности и возможности реализации объекта. За качество экспертизы отвечают эксперты; они независимы при осуществлении своих полномочий и обязаны учитывать передовые достижения отечественной и зарубежной науки и техники. Государственная экологическая экспертиза обязательно проводится до принятия решений о реализации объекта экологической экспертизы.

Общественная экологическая экспертиза организуется и проводится по инициативе граждан и общественных организаций до проведения государственной экологической экспертизы или одновременно с ней. Она может проводиться и независимо от государственной (заявление о проведении общественной экологической экспертизы должно пройти государственную регистрацию в органах местного самоуправления).

**Федеральный закон «Об отходах производства и потребления»** определяет государственную политику в области обращения с отходами производства и потребления и призван содействовать предотвращению отрицательного воздействия отходов производства и потребления на окружающую среду и здоровье человека при обращении с ними, а также максимальному вовлечению их в хозяйственный оборот в качестве дополнительного источника сырья.

Законодательство об отходах производства и потребления основывается на Конституции РФ, Федеральном законе «Об охране окружающей среды» и Федеральном законе РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

В соответствии с Законом «Об отходах производства и потребления» основные принципы государственной политики в области обращения с отходами следующие:

1. Приоритет охраны окружающей среды;
2. Научно обоснованное сочетание экономических и экологических интересов общества;
3. Создание и внедрение малоотходных технологических процессов; ком-

плексная переработка материально-сырьевых ресурсов на основе замкнутых технологических циклов;

4. Использование механизмов экономического стимулирования для вовлечения отходов в хозяйственный оборот;

5. Государственный надзор и контроль над соблюдением санитарных правил, гигиенических нормативов и норм экологической безопасности при обращении с отходами;

6. Защита национальных интересов и участие в международном сотрудничестве в области обращения с отходами.

Закон относит организацию сбора, вывоза и утилизации бытовых и промышленных отходов к полномочиям органов местного самоуправления, регламентирует требования к транспортированию и трансграничному перемещению отходов. При осуществлении деятельности в области обращения с отходами Законом предусматривается разработка проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, а также разработка паспортов опасных отходов.

Закон регламентирует правовые основы определения отходов как объекта права собственности: «право собственности по отходам принадлежит собственнику сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, а также товаров (продукции), в результате использования которых эти отходы образовались». Брошенные и бесхозные отходы могут быть обращены в собственность собственником земельного участка или другого объекта, где они находятся. Право собственности на отходы может быть приобретено и в процессе купли-продажи или иной сделки об их отчуждении.

Индивидуальные предприниматели и юридические лица, осуществляющие деятельность в области обращения с отходами, обязаны вести учёт и предоставлять отчетность в установленном порядке. Закон предусматривает ведение Государственного кадастра отходов (кадастр отходов субъекта Федерации), включающего в себя Федеральный классификационный каталог отходов, Государственный реестр объектов размещения отходов, а также банк данных об отходах и технологиях использования и обезвреживания отходов различных видов. Закон обязывает лицензировать деятельность по обращению с опасными отходами.

Федеральный закон «**О лицензировании отдельных видов деятельности**» в области обращения с отходами выделяет следующие виды лицензионной деятельности:

- деятельность по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению опасных отходов;
- заготовка, переработка и реализация лома цветных металлов;
- заготовка, переработка и реализация лома чёрных металлов.

Лицензирование деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению опасных отходов осуществляется Ростехнадзором и его территориальными органами и регламентируется положениями, утвержденными постановлениями Правительства РФ.

Лицензирование деятельности по заготовке, переработке и реализации лома черных и цветных металлов осуществляется органами исполнительной власти субъектов РФ и регламентируется положениями, утвержденными постановлениями Правительства РФ. Обращение с отходами в субъектах РФ регулируется законами, действующими на территории данного субъекта РФ.

## Классификации отходов

**Отходы** – это продукты, возникшие как побочные, бесполезные или нежелательные в результате производственной и непромышленной деятельности человека и подлежащие утилизации, переработке или захоронению. Принято несколько классификаций отходов – принципиальных (укрупненных) и детальных.

**1. Отходы производства и отходы потребления** (рис. 44) – две большие группы, на которые принципиально можно разделить все образующиеся отходы, поскольку производственная деятельность человека связана в конечном итоге с удовлетворением его потребностей.

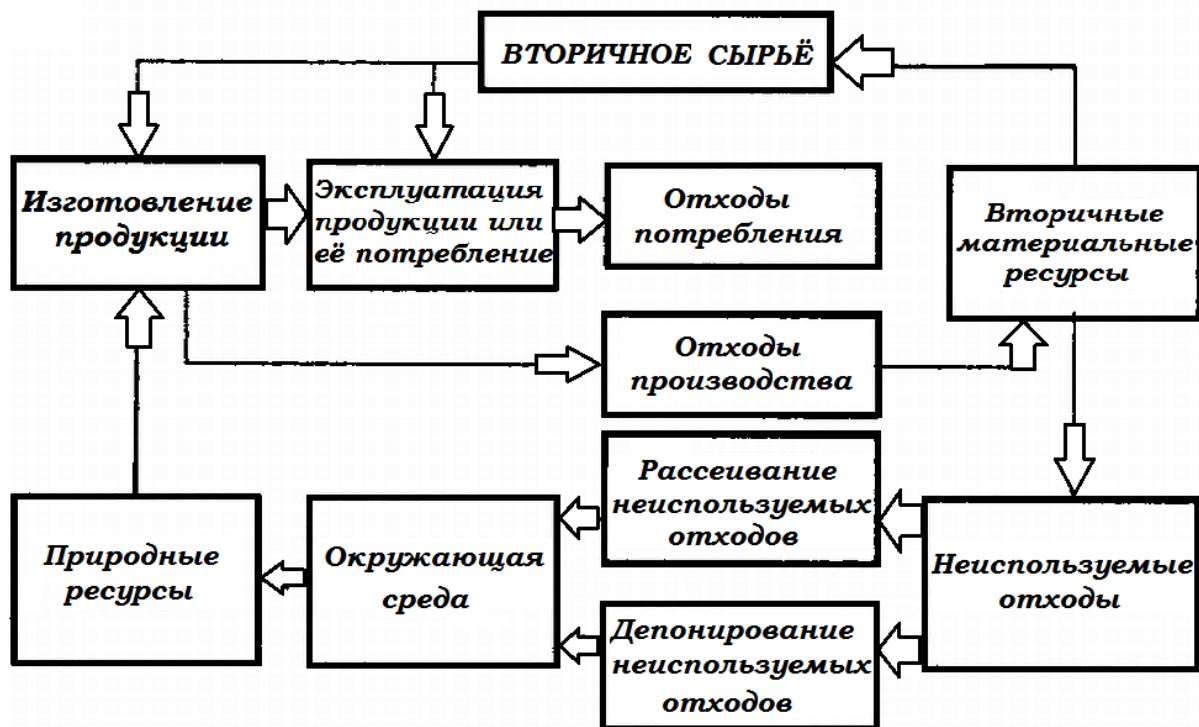


Рис. 44 – Схема образования отходов производства и потребления

К **отходам производства** следует отнести продукты, которые не производятся целенаправленно, а образуются как побочные при создании конечного продукта. Для каждого производства характерен свой вид технологических отходов. К **отходам потребления** относятся отслужившие свой срок товары и изделия, а также ненужные человеку продукты или их остатки, образовавшиеся в системе городского хозяйства. Наиболее распространённые отходы потребления:

- ТБО (жилой и нежилой сектор);
- крупногабаритные материалы – это отслужившая срок эксплуатации бытовая техника и мебель (холодильники, стиральные машины, газовые плиты, диваны и прочее);
- автолом;
- крупногабаритные резиноотходы (в основном автопокрышки, в том числе с металлокордом);
- отработанные аккумуляторы;
- отработанные ртутные лампы (в том числе энергосберегающие);
- электронный лом (радио- и телеаппаратура и прочее, обычно попадающие в ТБО).

**2. Бытовые, промышленные и сельскохозяйственные отходы.** Так как в любой экономической системе в качестве объектов взаимоотношений выступают



население, промышленные предприятия и сельское хозяйство, которые являются источником образования соответствующих отходов.

**3. Твердые, жидкие и газообразные отходы**, классифицируемые исходя из их агрегатного состояния. Твердое и жидкое состояния характерны для отходов всех групп, газообразные образуются преимущественно в промышленности (включая автотранспорт).

**4. Федеральный классификационный каталог отходов**, разработанный в целях реализации Федерального закона «Об отходах производства и потребления», представляет собой перечень образующихся в Российской Федерации отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков: по происхождению отхода, по агрегатному и физическому состоянию, по опасным свойствам, по степени вредного воздействия на окружающую природную среду.

Вид отходов определяет 13-значный код, характеризующий их общие классификационные признаки.

По происхождению выделяют:

- отходы органические природного происхождения – животного и растительного (код 100 000 00 00 00 0);
- отходы минерального происхождения (код 300 000 00 00 00 0);
- отходы химического происхождения (код 500 000 00 00 00 0);
- отходы коммунальные (код 900 000 00 00 00 0).

Детальный перечень отходов, образующихся в РФ, представлен в дополнениях к Федеральному классификационному каталогу отходов. ТБО входят в категорию «Отходы коммунальные».

**Класс опасности** – это показатель, определяемый токсичностью компонентов, содержащихся в отходах. Выделяют пять классов опасности отходов (табл. 8). В соответствии с приказом МПР России (от 15.06.2001 № 511) класс опасности отходов устанавливается по степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду.

Таблица 8

Характеристика классов опасности отходов

Класс опасности отхода	Степень вредного воздействия отходов на окружающую природную среду	Критерии отнесения отходов к классу опасности для окружающей природной среды
1 КЛАСС Чрезвычайно опасные	Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена Период восстановления – отсутствует
2 КЛАСС высокоопасные	Высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления – не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия
3-Й КЛАСС Умеренно опасные	Средняя	Экологическая система нарушена. Период восстановления – не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника
4-Й КЛАСС малоопасные	Низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления – не менее трёх лет
5-Й КЛАСС практически не опасные	Очень низкая	Экологическая система практически не нарушена

Отнесение отходов к классу опасности может осуществляться расчётным методом, когда требуемый показатель вычисляется как сумма показателей опасности веществ, входящих в состав отходов, или экспериментальным, основанным на биотестировании водной вытяжки отхода (используются дафнии и водоросли).

**Медицинские отходы.** По классификации **СанПиН (1999) «Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ)»** медицинские отходы делят на пять классов опасности:

➤ **класс А** – неопасные отходы ЛПУ – отходы, не имевшие контакта с биологическими жидкостями пациентов, инфекционными больными, нетоксичные отходы; пищевые отходы, кроме инфекционных подразделений ЛПУ; мебель, инвентарь, строительные отходы и другое;

➤ **класс Б** – опасные (рискованные) отходы – потенциально инфицированные отходы; материалы, загрязнённые кровью; органические операционные отходы, отходы инфекционных отделений и другое;

➤ **класс В** – чрезвычайно опасные отходы – материалы, контактирующие с больными особо опасными инфекциями; отходы лабораторий, работающих с патогенными микроорганизмами;

➤ **класс Г** – отходы, по составу близкие к опасным промышленным отходам – просроченные лекарственные средства, ртутьсодержащие отходы и другое;

➤ **класс Д** – радиоактивные отходы.

**5. Твёрдые, жидкие и пастообразные отходы** выделяют по международной классификации промышленных отходов, принятой во всех организациях, входящих во Всемирный банк отходов производства. Каждый вид отхода в свою очередь конкретизируется по восьми признакам. Виды промышленных отходов кодируются по системе, учитывающей **Международный стандарт классификации промышленности (ISIC)**, приведенный ниже:

(Код промышленности (ISIC Code)) Отрасль промышленности

**(1) Сельское хозяйство, охота, лесное хозяйство**

(11) Сельское хозяйство и охота

(12) Лесное хозяйство

(13) Рыбная ловля

**(2) Добывающая промышленность**

(21) Добыча угля

(22) Добыча нефти и газа

(23) Добыча металлоруды

(29) Другая добывающая промышленность

**(3) Перерабатывающая промышленность**

(31) Производство пищевых продуктов, напитков и табака

(32) Производство текстиля, одежды из текстиля и кожи

(33) Деревообработка, производство продукции из дерева (включая мебель)

(34) Производство бумаги, продукции из бумаги, выпуск печатных изданий

(35) Химическая промышленность, переработка нефтепродуктов, угля, производство резины и пластмассы

(36) Производство неметаллических минеральных продуктов, исключая продукты из нефти и угля

(37) Металлургическая промышленность

(38) Машиностроение

(39) Другие производства

**(4) Электроснабжение, газоснабжение, водоснабжение**

(41) Электроснабжение, газо- и пароснабжение

(42) Водоочистка и водоснабжение

- (5) Строительство, строительные-монтажные работы
- (50) Строительство
- (6) Государственная и частная торговля, пункты питания, гостиницы**
  - (61) Государственная торговля
  - (62) Частная торговля
  - (63) Рестораны, гостиницы
- (7) Транспорт, хранение продукции, связь**
  - (71) Транспорт и хранение
  - (72) Связь
- (8) Государственные и коммерческие учреждения**
  - (81) Финансовые организации
  - (82) Страховые организации
  - (82) Государственные учреждения и конторы
- (9) Общественное, социальное и индивидуальное обслуживание**
  - (91) Общественные административные и охранительные органы
  - (92) Санитарное и тому подобное обслуживание
  - (93) Социальное обслуживание
  - (94) Культурное обслуживание
  - (95) Индивидуальное и жилищное обслуживание
  - (96) Международные и межнациональные организации
- (10) Другие виды деятельности**

***Международный стандарт классификации отраслей промышленности по подотраслям.***

Код промышленности (SISIC Code) Подотрасль промышленности

- 31 Производство пищевых продуктов, напитков и табака
- 311-312 Производство пищевой продукции
- 3111 Производство мясных продуктов
- 3112 Производство молочных продуктов
- 3113 Обработка фруктов и овощей
- 3114 Производство рыбных продуктов
- 3115 Производство растительного и животного масла
- 3116 Мукомольное производство
- 3117 Производство хлебобулочных изделий
- 3118 Производство сахара и рафинада
- 3119 Обработка какао и производство шоколада
- 3121 Производство другой продукции
- 3122 Производство пищи для животных
- 313 Производство напитков
- 3131 Ректификация спирта и его производных
- 3132 Производство вина
- 3133 Производство ликеров
- 3134 Производство безалкогольных напитков
- 314 Производство табака
- 3140 Производство табачных изделий

**6.** При содержании в отходах разных химических веществ в определённой их концентрации, как правило, выделяют в отдельный класс и называют опасными. Но, любая классификация отходов в какой-то степени условна и может изменяться во времени. Например, по старой классификации ЕРА (1967 год) промышленные отходы считались опасными при наличии в них хотя бы одного из восьми тяжёлых металлов, четырёх инсектицидов и двух гербицидов. Согласно новой классификации, к этому перечню добавлено ещё 25 органических веществ и количество про-

мышленных отходов, считающихся опасными, увеличилось.

**7. Классификация отходов по возможностям их утилизации** используется в ряде случаев, причём технический прогресс обуславливает постоянное пополнение как перечня утилизируемых отходов, так и направлений их переработки и использования. Например, в Японии ТБО при организации их селективного сбора в местах образования классифицировали на: **1)** горючие отходы (направляют на сжигание), **2)** негорючие (подлежат захоронению), **3)** ценные (направляют на переработку). До 1984 года отработанные в быту сухие гальванические элементы (батарейки) относили ко второй категории отходов (подлежали захоронению), но затем в результате широкого обсуждения проблемы загрязнения окружающей среды ртутью, содержащейся в батарейках, их стали относить к категории ценных отходов, подлежащих регенерации.

В Италии, наоборот, отслужившие свой срок сухие бытовые батарейки, сбор которых обычно проводился совместно с другими твердыми бытовыми и промышленными отходами, направляемыми на сжигание, с 1984 года по специальному декрету стали относить к опасным отходам, подлежащим селективному сбору (отдельно от других ТБО). Это объясняется тем, что в составе элементов таких батареек присутствует ртуть и при сжигании происходило существенное загрязнение ртутью окружающей среды.

В ряде городов Италии успешный сбор использованных батареек (в специальные контейнеры, установленные вблизи соответствующих магазинов) позволил заметно уменьшить их количество в общей массе ТБО, подвергающихся сжиганию, и снизить тем самым загрязнение окружающей среды ртутью.

**8. Классификация многотоннажных отходов**, которые в наибольшей степени загрязняют окружающую среду и в то же время могут дать максимальный эффект при вовлечении в хозяйственный оборот.

**9. По гигиеническому принципу**, связанному со степенью токсикологической опасности, отходы делят на шесть категорий (табл. 9). При этом более 50 % отходов относятся к I категории, а примерно 10 % – к V и VI категориям.

В России разработаны высокотехнологичные способы захоронения токсичных и высокотоксичных веществ. Эти технологии широко применяют, например, при захоронении радиоактивных отходов. Захоронению отходов, содержащих менее токсичные вещества, уделяют меньше внимания.

Качественный и количественный состав твёрдых производственных отходов значительно отличается от аналогичных показателей по твёрдым бытовым отходам. Поэтому, несмотря на похожие подходы к утилизации, в случае переработки твёрдых производственных отходов имеются определённые отличия.

Таблица 9

*Классификация отходов по гигиеническому принципу*

Категория	Характеристика отходов по виду загрязнения	Рекомендуемые меры ликвидации или утилизации
I	Инертные	Использование для планировочных работ
II	Легко разлагающиеся органические	Складирование или переработка
III	Слаботоксичные, слаборастворимые в воде	Складирование
IV	Нефтемаслоподобные	Сжигание
V	Токсичные со слабым загрязнением воздуха	Складирование на полигонах промышленных и бытовых отходов
VI	Токсичные	Групповое или индивидуальное обезвреживание на специальных сооружениях

Для практического решения вопросов переработки, использования и безопасного удаления много-тоннажных отходов, а также для аналитической оценки их образования такие отходы удобно классифицировать **по признаку их принципиального химического состава** на четыре группы: содержащие преимущественно органические вещества, неорганические вещества, смешанные отходы (в состав входят как органические, так и неорганические вещества и компоненты), радиоактивные отходы. В каждую группу входят отходы производства и потребления различной номенклатуры, объединенные общностью химического состава:

**1) неорганические:**

➤ металлосодержащие – отходы добычи металлоруд, хвосты обогащения металлоруд, шлаки металлургические, клинкер металлургический, кеки металлургические, металлолом, отработанные катализаторы, отработанные электролампы, золы, пиритные огарки;

➤ неметаллические – отходы добычи неметаллических полезных ископаемых, хвосты обогащения неметаллических полезных ископаемых, шлаки топливные, золы, химические отходы (фосфогипс, борогипс), стеклобой и керамика, лом огнеупорный, земли формовочные, строительные отходы, асфальтобетон;

**2) органические** – бумажные отходы и макулатура, древесные отходы, кожевенные отходы, пластмассовые отходы, резиноотходы (без металлокорда), текстильные отходы, пищевые отходы, биомасса, отработанные сорбенты;

**3) смешанные** – это хвосты углеобогащения, бытовые отходы, автолом, электронный лом, электро-кабельный лом, аккумуляторный лом, отработанные сухие гальвано-элементы (батарейки), резиноотходы с металлокордом, отходы носителей магнитной записи, отходы кинофотопленки, отходы лакокрасочных материалов;

**4) радиоактивные:**

➤ низкоактивные – отходы исследовательских и медицинских учреждений, отработанные ионообменные смолы, отходы АЭС (шламы из фильтров, обтирочная бумага, защитные пластмассовые покрытия);

➤ среднеактивные – отходы добычи радиоактивных руд, хвосты обогащения радиоактивных руд, отработанные контейнеры для хранения и транспортирования радиоактивных материалов, отработанные тепло-выводящие элементы;

➤ высокоактивные – отработанное ядерное топливо, отходы производства ядерного топлива.

Как правило, даже внутри одной группы отходы являются многокомпонентными, вследствие чего для повышения эффективности переработки и вторичного использования необходима предварительная сортировка (ручная или механизированная) или селективный сбор отходов.

В большинстве случаев отходы каждого вида (номенклатуры) требуют своих методов переработки, и смешивание отходов обычно не допускается. Даже если для переработки отходов одного и того же вида используется принципиально один и тот же метод, например, сжигание, бесконтрольная термообработка допустима не всегда. Так, процесс сжигания отходов химических производств может быть как эндо-, так и экзотермическим, что предполагает контроль смешения подлежащих сжиганию партий отходов для минимизации выделяемой энергии.

**Многотоннажные неорганические металлосодержащие отходы** служат дополнительным сырьевым источником получения металлов. Образующиеся отходы этой группы необходимо складировать таким образом, чтобы в дальнейшем их было удобно вовлечь в переработку. Например, хвосты обогащения и металлургические шлаки целесообразно складировать с учётом содержащихся в них тех или иных металлов, не допуская смешивания разноименных металлосодержащих отходов. Для переработки отходов этой группы используются различные ме-

тоды обогащения, гидро- и пирометаллургии, а также химические методы и биотехнология. После выделения металлов основная масса отходов становится аналогичной группе неорганических неметаллических отходов и может применяться в производстве стройматериалов, для закладки выработанного при горных работах пространства, в дорожном строительстве и прочем.

**Многотоннажные неорганические неметаллические отходы** горно-обогатительного производства чаще всего используются для закладки выработанного пространства и в качестве сырья для производства стройматериалов и в дорожном строительстве. Такой многотоннажный отход этой группы, как фосфогипс, применяется для получения вяжущих для строительных смесей и строительных материалов (взамен минерального сырья), а также в качестве мелиорантов для почв. Стеклобой и керамику, как и подавляющее большинство отходов этой группы, можно направлять в производство стройматериалов, а также в первичное производство для получения аналогичных изделий.

Для переработки и ликвидации **органических отходов** возможно использование термических методов как самостоятельных процессов и в комбинации с другими процессами (на конечных стадиях технологической обработки). В то же время, многие органические отходы можно применять по прямому назначению (часто в месте их образования) в качестве сырьевых материалов основного производства:

- макулатуру – в производстве бумаги и картона,
- древесные отходы – в производстве мебели и стройматериалов,
- кожевенные отходы – при выделке кож,
- пластмассовые отходы – для производства пластмассовых изделий,
- резиноотходы – в производстве резины,
- текстильные отходы – в производстве вторичного текстиля и прочее.

Важное направление утилизации органических отходов – энергетическое использование (сжигание с утилизацией теплоты, анаэробное сбраживание с получением биогаза и другое). Специфические свойства таких отходов, как пищевые и растительные, определяют их применение для получения новой товарной продукции (компоста, био-топлива, корма для скота, спирта, биогумуса и прочие).

**Смешанные отходы** наиболее сложны для переработки и использования. Большая часть этих отходов содержит металл и вовлекается в переработку именно ради извлечения металла. Из-за присутствия в смешанных отходах органических веществ потенциально возможно использование термических методов (сжигание, пиролиз) в процессах их переработки. Будучи многокомпонентными, смешанные отходы требуют комбинированной переработки с применением различных методов, обеспечивающих комплексность их использования.

К **радиоактивным** относят отходы, образующиеся при работах с радиоактивными веществами и характеризующиеся повышенным вредным воздействием на организм человека и окружающую среду. Основная задача при переработке низко-, средне- и высокорadioактивных отходов – обезвреживание для дальнейшего безопасного удаления и захоронения. В ряде случаев при переработке радиоактивных отходов извлекают радиоактивные элементы.

Таким образом, решающими условиями выбора направлений переработки того или иного отхода являются (помимо экономических предпосылок) принципиальный химический состав отхода, его вид и конкретные потребности в той или иной продукции (в пределах возможных вариантов её получения по известным технологиям). Разработка новых технологий существенно расширяет пути утилизации твёрдых отходов производства и потребления. Особенно перспективна комплексная переработка и утилизация отходов различной номенклатуры (как разных групп, так и одной группы), под которой в практике следует понимать максимально полное вовлечение отходов в хозяйственный оборот, совместную переработку

разных отходов, использование одних отходов для обезвреживания и эффективной переработки других, применение комбинированных технологий для обеспечения максимальной эффективности производства и комплексности использования техногенного сырья.

### Полигонное захоронение отходов

До настоящего времени в России и странах Содружества независимых государств (СНГ) наиболее распространённым методом решения проблемы ТБО и приравненных к ним отходов является их полигонное захоронение: на полигоны вывозят 95–97 % образующихся ТБО (в Москве 80–85 %). В то же время в ведущих странах Европейского Союза (ЕС) (Германии, Австрии, Швеции, Бельгии, Дании, Нидерландах, Люксембурге), а также в Швейцарии и Японии полигонному захоронению подвергают менее 20 % ТБО (в Бельгии всего 5 %). **Современный полигон** – инженерно-обустроенное сооружение для реализации технологии размещения ТБО (приём, складирование, уплотнение, захоронение) и охрану окружающей среды от загрязнения (рис. 45).

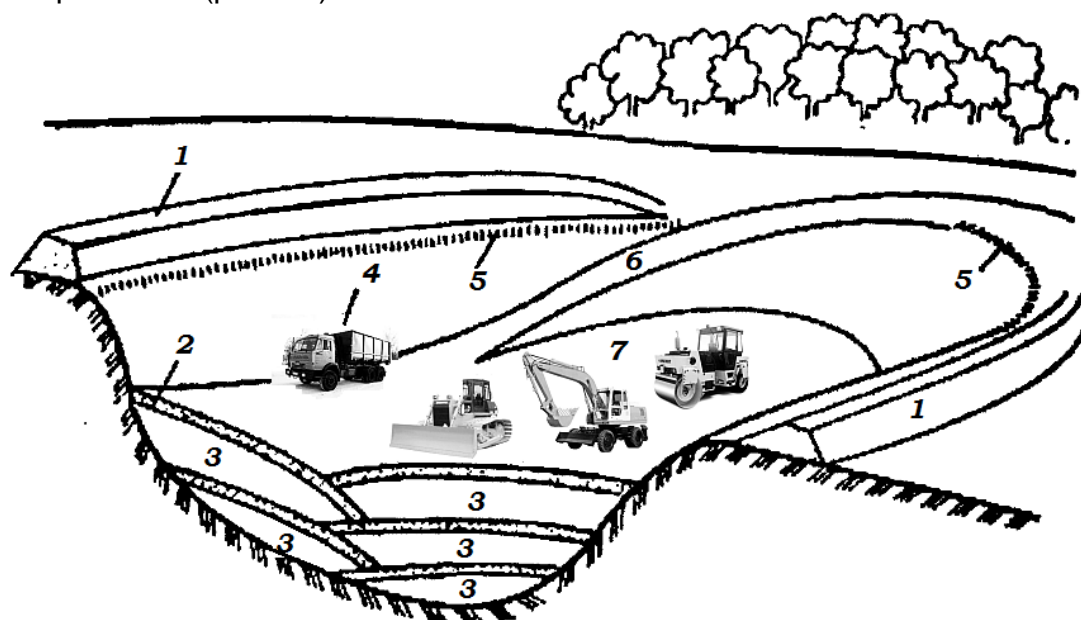


Рис. 45 – Схема полигона в выработанном котловане:

1 – кавальер грунта; 2 – промежуточная изоляция; 3 – слой уплотнённых ТБО, высотой два метра; 4 – мусоровоз; 5 – бровка карьера; 7 – техника

На современных полигонах стремятся ограничить контакт отходов с окружающей средой. Но, это одновременно затрудняет разложение отходов, вследствие чего они представляют собой своеобразную «бомбу замедленного действия». При недостатке кислорода органические отходы на полигоне подвергаются анаэробному сбраживанию, что приводит к образованию «свалочного газа» – биогаза (смесь метана, углекислого газа, сероводорода и др.), создающего парниковый эффект. В недрах полигона формируется токсичная жидкость-фильтрат, попадание которого в водоёмы и подземные воды крайне нежелательно. Поэтому широко распространённую многовековую практику удаления отходов на свалки (полигоны) следует рассматривать как вынужденное, но малоперспективное с позиций экологии решение, тем более, что для природных процессов многие отходы по своей структуре неизвестны и природа не способна справиться с накопленными и качественно изменёнными продуктами, созданными человеком для обеспечения своей жизнедеятельности.

## Устройство полигона и складирование отходов

Требования к современным полигонам включают требования к выбору площадки, конструкции, эксплуатации, мониторингу, выводу из эксплуатации, а на Западе, кроме того, к предоставлению финансовых гарантий (страховка на случай форс-мажорных ситуаций).

В России многие проблемы при организации полигонного захоронения ТБО возникают вследствие недостатков, присущих существующей нормативной правовой базе. В частности, в сфере управления коммунальными отходами недостаточно полно определены стандарты качества услуг. Нормы и правила строительства полигонов для размещения ТБО определяют действующие СНиПы, нормы и правила сбора и удаления отходов (включая регулярность вывоза ТБО, требования к контейнерным площадкам, периодичность мойки контейнеров), устанавливают СанПиНы, но в то же время отсутствуют нормативные акты, определяющие правила эксплуатации полигонов.

Полигоны ТБО располагаются за пределами городов. Размер санитарно-защитной зоны от жилой застройки до границы полигона – 500 м, от аэропорта – 15 км.

Для размещения полигона предпочтителен участок, сложенный глинами или тяжелыми суглинками (при глубине грунтовых вод не менее двух метров). Запрещается использовать под полигоны болота глубиной более одного метра, а также участки, затопляемые паводковыми водами.

Проектируемый срок эксплуатации полигона – не менее 15–20 лет. Необходимая площадь земельного участка для складирования ТБО зависит при прочих равных условиях от численности обслуживаемого населения и высоты складирования ТБО. Например, для города с населением 0,5 млн жителей требуется полигон площадью от 20 до 60 га при высоте складирования ТБО соответственно от 45 до 12 м. Полигоны ТБО, имеющие общую высоту более 20 м и нагрузку на площадь более десяти т/м<sup>2</sup> (100 тыс. т/га), относят к категории высоконагружаемых.

В России нередки случаи, когда для отдельного муниципалитета или поселения создается отдельный полигон (точнее, свалка). Но, более эффективно строить и эксплуатировать полигоны, обслуживающие несколько муниципалитетов, что обеспечивает снижение тарифов, капитальных и эксплуатационных расходов, способствует реализации технологических нововведений.

На проектные решения, как и на эксплуатацию полигона, влияют:

- количество захораниваемых отходов;
- характеристики отходов (плотность, влажность, морфологический и гранулометрический, химический составы);
- число и вид транспортных средств, частота их рейсов на полигон.

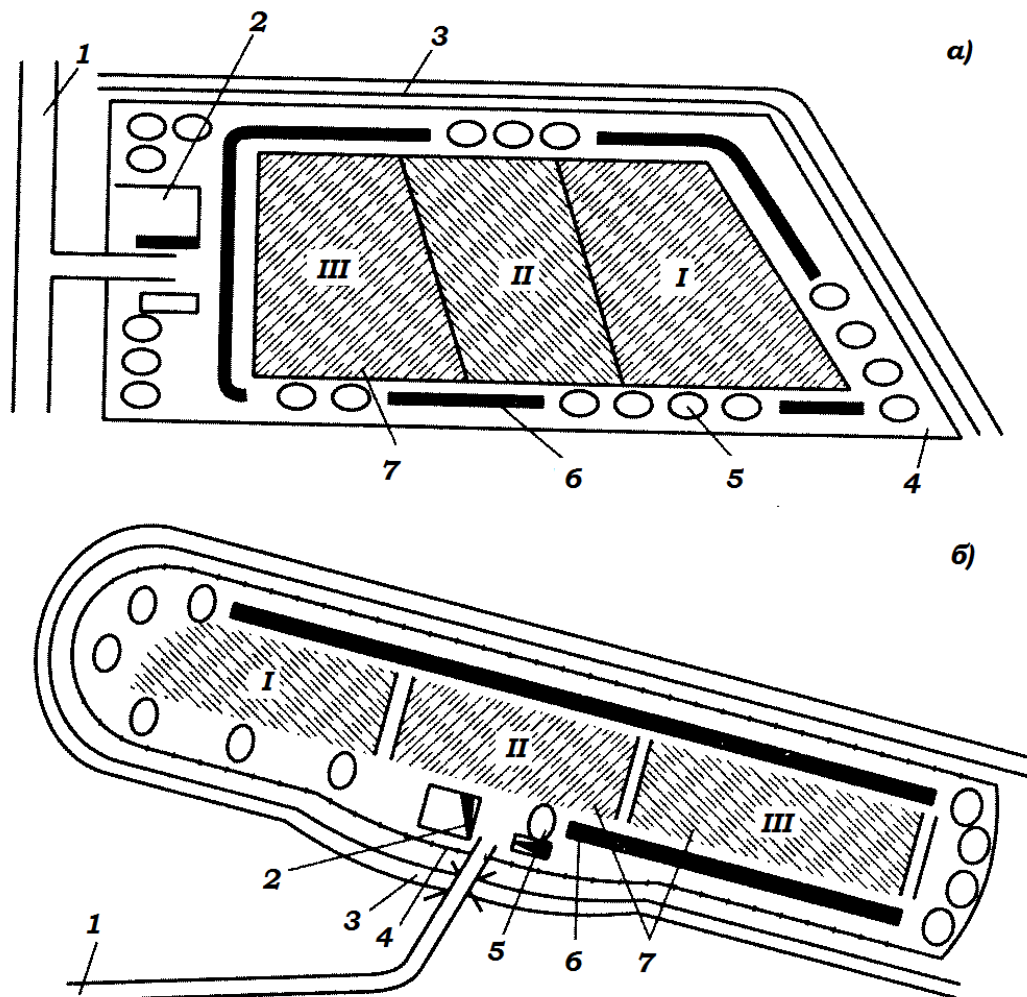
От количества и характеристик отходов зависят:

- площадь, необходимая для захоронения отходов;
- масса грунта для укрытия рабочей карты отходов;
- объёмы и характеристики образующихся газа и фильтрата;
- воздействие на окружающую среду.

При проектировании полигона следует учитывать тенденции изменения во времени количества и характеристик отходов, например за счёт сортировки. В настоящее время во многих странах сортировка ТБО в местах их образования обеспечивает вовлечение в повторное использование около 50 % отходов. Поэтому характеристики общего потока отходов и тех, которые подлежат захоронению, существенно различаются. Отсутствие надёжных исходных данных о количестве и составе отходов, характерное для российской практики, может привести к серьёзным проектным и инвестиционным ошибкам.



**Основными элементами полигона** (рис. 46) служат: подъездная дорога (с двусторонним движением); участок складирования ТБО, занимающий 95 % площади полигона и ограничивающийся водоотводной канавой; хозяйственная зона, располагающаяся на пересечении подъездной дороги с границей полигона и включающая бытовые и производственные помещения; инженерные сооружения и коммуникации (водопровод, канализация, мачты электроосвещения).



**Рис. 46 – Схема размещения основных сооружений полигона:**

- а** – при соотношении длины и ширины полигона 2:1; **б** – при соотношении более 3:1; **1** – подъездная дорога; **2** – хозяйственная зона; **3** – нагорная канава; **4** – ограждение; **5** – зелёная зона; **6** – кавальер фунта для изоляции слоев; **7** – участки складирования ТБО; **I, II и III** – очереди эксплуатации

Участок складирования разбивается на очереди эксплуатации (с учётом рельефа местности). На нём в основании полигона предусматривается устройство котлована, из которого проводится выемка грунта для последующей изоляции ТБО (промежуточной и окончательной). Глубина котлована зависит от уровня грунтовых вод (дно котлована должно быть на один метр выше уровня грунтовых вод).

В соответствии с рельефом местности и очередностью складирования ТБО участок разбивается на несколько котлованов; при уклоне участка более 0,5 м предусматривается каскад котлованов (рис. 47). Грунт, вынутый из котлована первой очереди, размещается в кавальерах по периметру полигона. Разность отметок оснований двух смежных котлованов – не более одного метра. Основание котло-

вана – глина толщиной не менее 0,5 м с коэффициентом фильтрации воды не более  $10^{-5}$  см/с. Если коэффициент фильтрации грунта более  $10^{-5}$  см/с, требуется устройство искусственных непроницаемых противофильтрационных экранов. Цель создания такого экрана – ограничение потока фильтрата к нижележащим грунтовым водам и предотвращение притока грунтовых вод на уровень выше основания полигона.

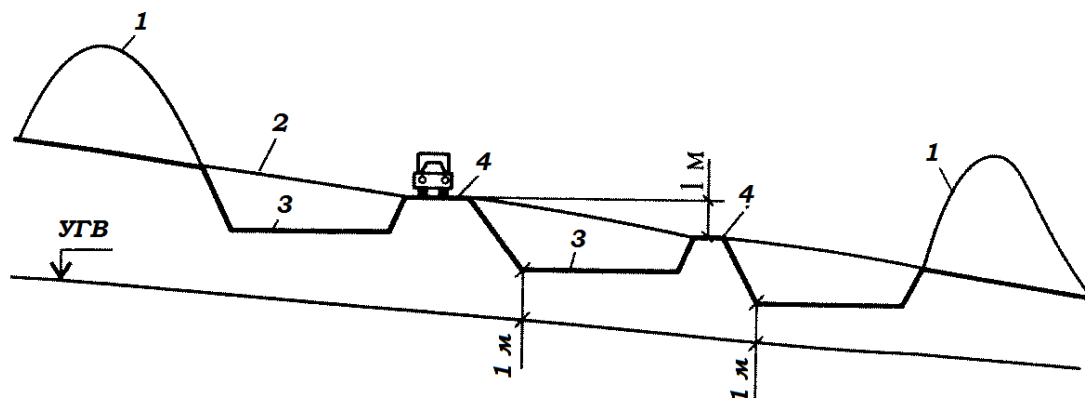


Рис. 47 – Высотное размещение котлована в основании полигона:  
 1 – кавальер грунта; 2 – поверхность участка до разработки котлована;  
 3 – основание участка складирования; 4 – дорога

Для противофильтрационных экранов в России рекомендуется использовать следующие материалы:

- однослойный глиняный экран толщиной не менее 0,5 м, поверх которого укладывается защитный слой из местного грунта толщиной 0,2–0,3 м;
- грунтобитумный экран толщиной 0,2–0,4 м, обработанный органическими вяжущими или отходами нефтепереработки;
- экран из латекса (двухслойный).

В США и странах ЕС для гидроизоляции основания полигона используют противофильтрационные полимерные экраны, отличающиеся высокой химической, физической и биологической стойкостью, а также устойчивостью к механическим нагрузкам. Схема устройства противофильтрационного экрана, характерного для европейской практики, представлена на рис. 48.

В качестве противофильтрационных полимерных экранов используют нетканый геотекстиль и геомембрану.

Нетканый геотекстиль изготавливают из высококачественного полипропилена. Он устойчив к щелочам, кислотам, не подвержен воздействию плесени и бактерий, но разрушается при длительном воздействии ультрафиолетового излучения (фотодеградация). Температура размягчения 140 °С. Основным методом соединения для получения полотна – внахлест (сваривание горячим воздухом). Гео-текстиль обычно имеет белый цвет.

Геомембраны изготавливают из высококачественного сырья (полиэтиленового или полипропиленового гранулята) по экструзионной технологии (отечественный полимерный экран ТехПолимер получают из полиэтилена высокого давления). Материал устойчив к воздействию растворов кислот и солей, не подвержен воздействию плесени и микроорганизмов, а также (в отличие от геотекстиля) устойчив к ультрафиолетовому излучению. Во избежание повреждения геомембраны рекомендуется использовать подкладочный слой геотекстиля. Основным методом соединения рулонных листов – сварка внахлест горячим воздухом под давлением с получением двойного шва.

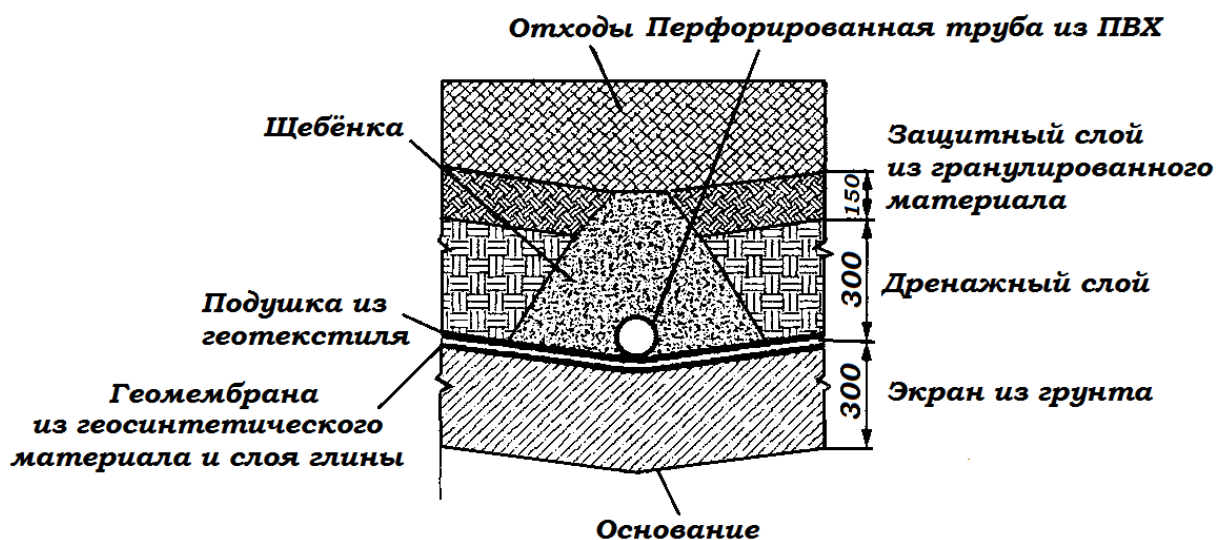


Рис. 48 – Схема устройства противофильтрационного экрана в основании полигона (европейская практика) с использованием геосинтетика

ТБО складировать на рабочей карте, отведённой на данные сутки. Размеры рабочей карты (в м): длина – 30–150, ширина – 5. Мусоровозы разгружают ТБО у рабочей карты. Бульдозеры сдвигают ТБО на рабочую карту, создавая слой высотой 0,3–0,5 м.

Складированные на полигоне ТБО подвергаются уплотнению и изоляции. Уплотнение в три-четыре раза, по данным российской практики, достигается четырёхкратным проходом бульдозера (катка) по одному месту. Уплотнение отходов продлевает срок службы полигона, приводит к выравниванию площадки захоронения, упрощает укрытие отходов и дальнейшую работу. По данным зарубежной практики, четырёхкратное уплотнение каждого слоя обеспечивает плотность укладки до  $1,1 \text{ т/м}^3$  (в расчёте на сухую массу). Уплотнённый слой ТБО высотой два метра (12–20 слоёв) изолируют грунтом, инертными материалами (отходы строительства, шлаки); вместо грунта возможно использовать компост, полученный из ТБО. Слой промежуточной изоляции 0,15–0,25 м.

На европейских полигонах практикуется ежедневное изоляционное покрытие складированных ТБО слоем грунта, толщиной не менее 0,15 м либо химической пеной или полимерными плёнками. Ежедневная изоляция препятствует рассеянию отходов, распространению запахов и возникновению пожаров, улучшает внешний вид полигона. Элементы общей схемы полигона приведены на рис. 49.



Рис. 49 – Элементы общей схемы полигона

Степень уплотнения отходов при их полигонном захоронении зависит (при прочих равных условиях) от массы уплотняющего оборудования (определяет давление) и числа проходов уплотняющей техники. Для получения стабильной степени уплотнения отходов достаточно четырёх-шести проходов тяжёлой (массой 20-40 т) техники (бульдозеры, тракторы). Дальнейшее увеличение числа проходов техники и её массы существенно не влияет на уплотнение ТБО.

В ряде европейских стран на одном и том же полигоне на специализированных участках складировать промышленные отходы, отходы строительства, осадки сточных вод и прочее. Кроме того, на полигонах проектируются участки компостирования растительных и других биоразлагаемых органических отходов, участки сортировки отходов и хранения вторичного сырья. В России на муниципальных полигонах допускается размещение лишь тех отходов, которые приравнены к ТБО.

Для совместного складирования с ТБО допускаются промышленные отходы невзрывоопасные и несамовозгорающиеся, имеющие влажность не более 85 %; токсичность смеси отходов не должна превышать токсичность ТБО (по данным анализа водной вытяжки). Промышленные отходы IV класса опасности, принимаемые полигонами ТБО без ограничений, характеризуются содержанием токсичных веществ в водной вытяжке (один литр воды на один килограмм отходов) на уровне фильтрата из ТБО и крупностью не более 250 мм. Ниже приводится перечень промышленных отходов IV класса опасности, принимаемых на полигоны твёрдых бытовых отходов без ограничения и используемых как изолирующий материал.

<b>Код группы и вида отходов</b>	<b>Вид отхода</b>
1.24.01	Алюмосиликатный шлам
1.36.02.1	Асбестоцементный лом
1.36.02.2	Асбоброшка
1.39.01	Бентонита отходы
1.31.01	Графит отработанный производства карбида кальция
1.39.02	Гипсосодержащие отходы производства витамина В <sub>6</sub>
1.39.03	Известь-кипелка, известняк, шламы после гашения
1.39.04	Мела химически осажденного твёрдые отходы
1.39.05	Оксид алюминия в виде отработанных брикетов (при производстве AlCl <sub>3</sub> )
1.39.06	Оксид кремния (при производстве поливинилхлорида (ПВХ) и AlCl <sub>3</sub> )
1.39.07	Отход Паронита
1.39.08	Плав солей сульфата натрия
1.39.09	Селикагель (из адсорберов осушки нетоксичных газов)
1.24.02	Селикагеля производства шлам с фильтр-прессов (содержит глину и кремнезем)
1.24.03	Соды гранулированный шлам
1.24.04	Содово-цементного производства отходы дистилляции в виде CaSO <sub>4</sub>
1.29.00	Формовочные стержневые смеси, не содержащие тяжёлых металлов
1.24.05	Химводоочистки и умягчения воды шлама
1.27.01	Хлорид-натриевые осадки сточных вод производства лаковых эпоксидных смол
1.39.10	Хлорная известь нестандартная
1.36.02.3	Шиферного производства твёрдые отходы
1.39.11	Шлаки тепло-электро-централей (ТЭЦ), котельных, работающих на угле, торфе, сланцах или ТБО
1.39.12	Шлифовальные материалы

Способы захоронения ТБО в России обычно не соответствуют требованиям охраны окружающей среды и отличаются от принятых в Европе:

- отсутствием в основании объекта захоронения ТБО противофильтрационного экрана, защищающего грунтовые воды от загрязнения;
- отсутствием регулярной послойной изоляции уплотненных ТБО грунтом (или инертными материалами, в том числе отходами, например шлаками мусоросжигательного завода); отсутствием мер по предотвращению попадания парниковых газов в атмосферу;
- отсутствием при проектировании дренажной системы учёта накопления фильтрата над водоупорным экраном в первые два года эксплуатации объекта захоронения отходов (это приводит к заиливанию системы дренажа).

### **Разложение отходов в местах их захоронения**

ТБО на 70–80 % состоят из органических компонентов, большинство из которых подвержены разложению во времени в условиях захоронения в результате естественных химических и биологических процессов.

Биохимический процесс разложения органической части отходов микроорганизмами называют ферментацией. Процесс ферментации может протекать в аэробных условиях (аэробная ферментация) или в анаэробных условиях (анаэробная ферментация).

Благодаря биохимическим реакциям, происходящим в теле полигона:

- твёрдые отходы, подверженные биологическому разложению (остатки пищи и овощи, бумага и макулатурообразующие компоненты, волокнистые материалы растительного и животного происхождения), становятся биологически стабильными и не являются потенциальным источником загрязнения окружающей среды;
- часть твёрдых отходов, содержащих углерод и белок, переходит в газообразное состояние, в результате значительно снижаются масса и объём биоразлагаемых твёрдых органических отходов.

Поскольку отходы складываются и находятся на полигоне продолжительное время, экосистема полигона является динамичной, то есть изменяется во времени. Основные процессы разложения органических отходов, происходящие в теле полигона, состав образующихся продуктов и фильтрата представлены на рис. 50.

Основные факторы, влияющие на разложение отходов при их полигонном захоронении, – влажность и питательная среда для микроорганизмов.

В анаэробных условиях более высокому содержанию влаги в отходах соответствуют более активные биологические процессы. При содержании влаги в биоразлагаемых отходах менее 20 % активность анаэробных процессов значительно снижается. Следовательно, в современных условиях полигонного захоронения анаэробное разложение органических компонентов можно характеризовать как замедленное (затруднено попадание воды в нижележащие горизонты).

Питательная среда для микроорганизмов (субстрат) играет важную роль в процессах разложения отходов. Отходы, отличающиеся высоким содержанием органических веществ, подверженных гниению (растительные и пищевые отходы, навоз), наиболее пригодны для анаэробного сбраживания.

Активность некоторых микроорганизмов (мезофилов) повышается с увеличением температуры до 40 °С. Для другой разновидности микроорганизмов (термофилов) верхний предел температуры, тормозящий их активность, составляет 55 °С. Поэтому в районах с высокой влажностью и жарким климатом (тропические районы) процессы разложения органических веществ интенсифицируются.

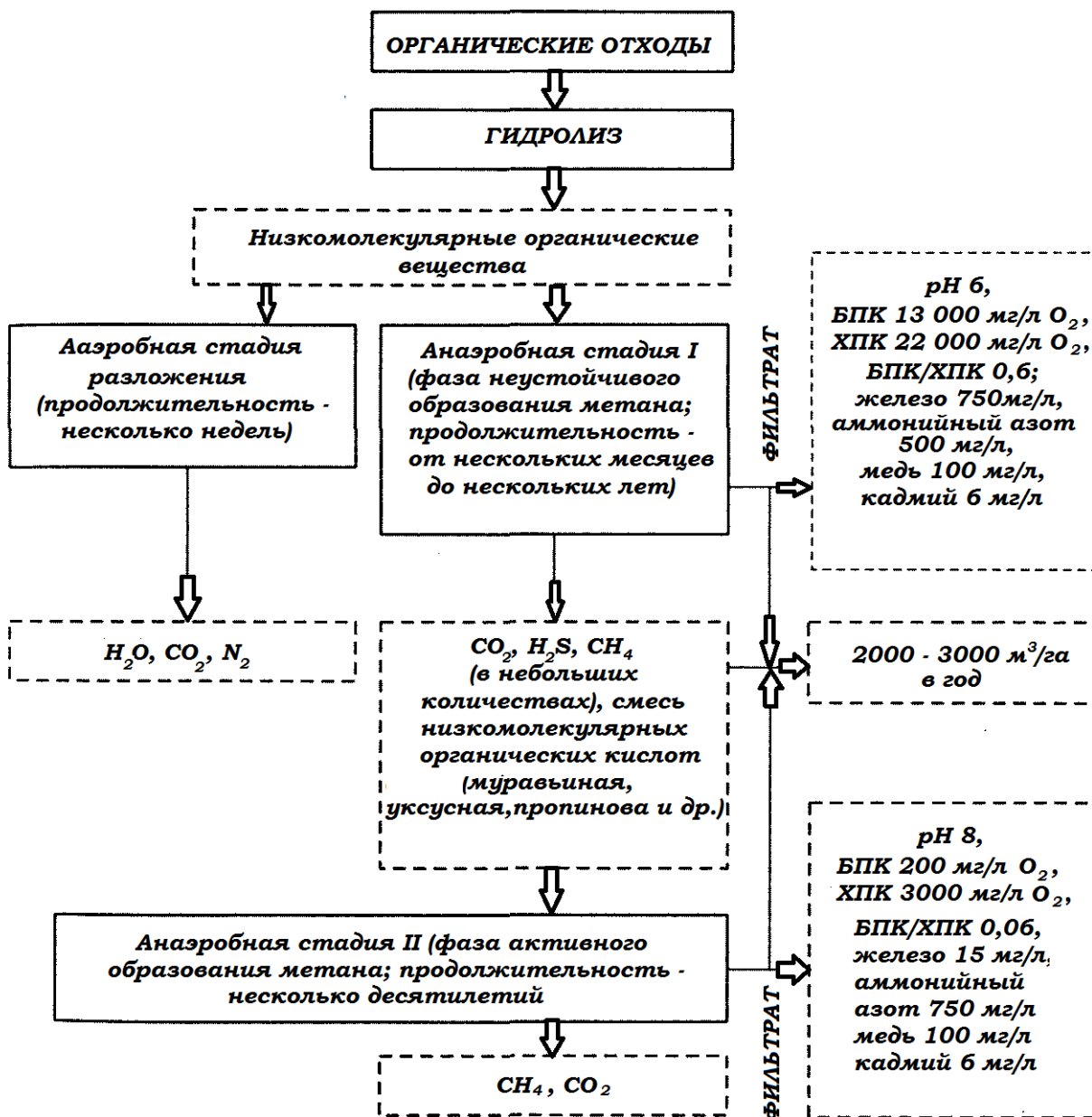


Рис. 50 – Принципиальные процессы разложения органических веществ при полигонном захоронении ТБО (основные стадии разложения, состав образующихся продуктов и фильтрата)

Анаэробное разложение оказывает более сильное и длительное воздействие на окружающую природную среду.

Аэробные реакции предшествуют анаэробным. Основная форма разложения отходов непосредственно после их складирования – аэробная (аэробная фаза разложения). Аэробное разложение продолжается до тех пор, пока не израсходуется весь кислород в теле полигона. Но кислород, попадающий в тело полигона вместе с отходами, расходуется относительно быстро, и аэробная фаза непродолжительна – всего несколько недель, а большая часть биоразлагаемых веществ подвергается анаэробным процессам. Продолжительность аэробной фазы зависит от проектных решений и условий эксплуатации полигона, включая степень уплотнения отходов и содержание влаги (вода вытесняет воздух из пространства между частицами отходов).

В результате реакции гидролиза образуются низкомолекулярные органические вещества, которые в течение нескольких недель проходят стадию кислородно-нитратного окисления и разлагаются в аэробных условиях до воды, диоксида углерода и азота. При протекании этих процессов в теле полигона отмечается повышение температуры (45–55 °С).

Во время аэробной фазы отрицательные воздействия на окружающую среду минимальны, так как конечные продукты разложения представляют собой инертные вещества (если абстрагироваться от Киотского протокола, в соответствии с которым ограничивается поступление в атмосферу парниковых газов).

В анаэробной фазе в отличие от аэробной прекращается выделение теплоты и постепенно снижается температура отходов в теле полигонов (до температуры окружающей среды).

Для анаэробных условий характерна стадия распада продуктов гидролиза. При этом можно выделить две фазы:

1. **Фазу I** (кислотогенную) продолжительностью от одного до шести месяцев. В итоге процессов ферментации и восстановления сульфатов органические вещества разрушаются до низкомолекулярных кислот (в частности, образуются муравьиная, уксусная и пропионовая кислоты), диоксида углерода и сульфида водорода; в небольших количествах выделяется метан. При этом образуются промежуточные продукты – карбоновые кислоты и спирты;

2. **Фазу II** (метаногенную), в которой образовавшиеся ранее жирные кислоты используются метанообразующими бактериями для производства метана.

Стадия анаэробного разложения органических веществ продолжается 8–40 лет, причём первые три года процесс образования метана протекает неустойчиво. Стадия образования гумуса – последняя стадия разложения органических отходов, которая начинается по мере снижения выхода биогаза. Её продолжительность – до 40 лет.

Различные стадии активных процессов разложения органических отходов, без указания временного масштаба этих стадий, приведены на рис. 51.

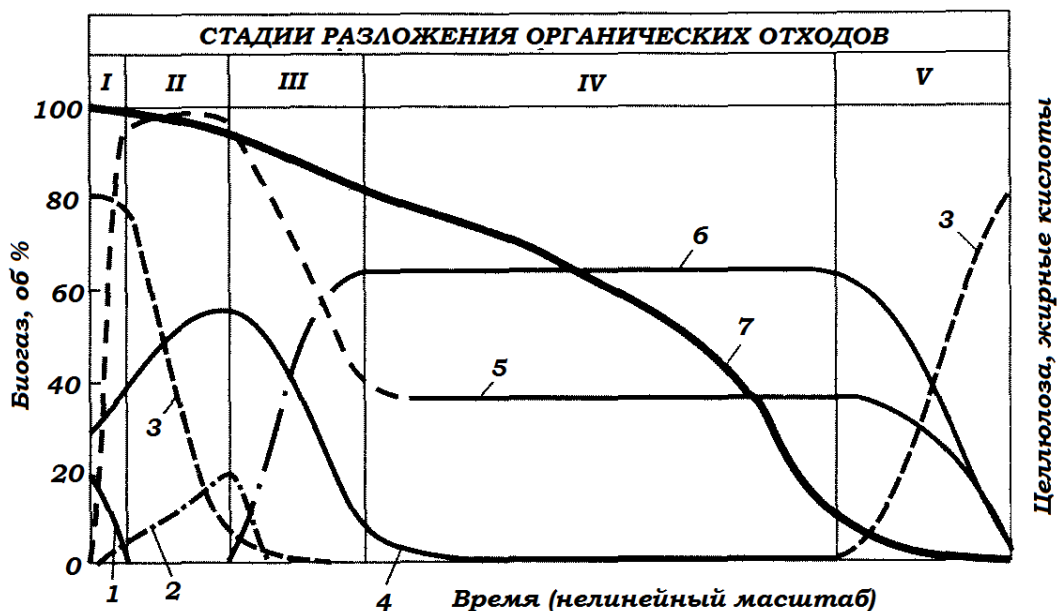


Рис. 51 – Стадии разложения органических отходов:

**I** – стадия окисления в аэробных условиях; **II** – распада продуктов гидролиза в анаэробных условиях; **III** – неустойчивого образования метана; **IV** – образования метана; **V** – образования гумуса; **1** – кислород; **2** – водород; **3** – азот; **4** – жирные кислоты; **5** – диоксид углерода; **6** – метан; **7** – целлюлоза

Продукты анаэробного разложения в отсутствие надлежащего контроля могут оказывать значительное негативное воздействие на окружающую среду, обусловленное прежде всего образованием органических кислот с характерным неприятным запахом (муравьиной, уксусной, пропионовой, изовалериановой). На стадии неустойчивого образования метана (анаэробная фаза) образуются летучие органические кислоты; следствие их присутствия – образование химически агрессивного фильтрата (рН – от пяти до шести). В метаногенной фазе образования метана (анаэробная фаза II) рН фильтрата повышается до нейтрального значения и он становится менее агрессивным во времени. Во время анаэробных процессов в основном образуются два газа – метан и диоксид углерода. Сероводород, водород и азот обычно образуются в следовых количествах.

Со скоростью разложения органической фракции ТБО и, следовательно, со скоростью и величиной оседания (уровень поверхности полигона снижается) связана возможность использования полигона после его закрытия и рекультивации. Оседание, как правило, служит основным сдерживающим фактором при планировании использования закрытого полигона, так как продолжается вплоть до завершения процесса биохимического разложения отходов. Использование площадки до конца биологической стабилизации связано с большим риском. Естественно, при повышении скорости разложения органических компонентов площадка быстрее станет пригодной для использования.

### **Сбор и обезвреживание фильтрата**

Фильтрат, образующийся на полигонах ТБО, содержит продукты выщелачивания водорастворимых соединений и продукты разложения отходов. В среднем годовой объём образующегося фильтрата составляет 2000–3000 м<sup>3</sup>/га.

Состав фильтрата зависит от срока эксплуатации полигона (от стадии разложения отходов), состава складированных отходов и объёма поступления поверхностных и грунтовых вод.

Фильтрат из ТБО характеризуется преимущественно интегральными показателями – биохимической потребностью в кислороде (БПК) и химической потребностью в кислороде (ХПК), а также содержанием тяжелых металлов, аммонийного азота и некоторых других веществ. После короткой аэробной стадии разложения ТБО продолжительностью несколько недель можно выделить две анаэробные стадии.

**Первая стадия** распада органических веществ в анаэробных условиях (кислотогенная фаза, фаза неустойчивого образования метана) протекает от нескольких месяцев до нескольких лет после депонирования отходов. Фильтрат, образующийся на этой стадии разложения ТБО, характеризуется средним рН 6, высоким БПК (13 000 мг/л O<sub>2</sub>), значительным отношением БПК/ХПК К = 0,6, служащим индикатором содержания органических веществ в фильтрате, высоким содержанием аммонийного азота и железа.

На полигоне фильтрат мигрирует в направлении к основанию полигона, а при отсутствии противофильтрационного экрана – из основания полигона в подстилающие грунты. В зависимости от типа грунта, окружающего полигон, существует вероятность горизонтальной миграции фильтрата в системе грунт–отходы. Одна из серьёзных проблем, связанных с неконтролируемой вертикальной миграцией фильтрата, – потенциальная возможность загрязнения грунтовых вод.

**Вторая стадия (метаногенная фаза)**, характерная для старых полигонов, может продолжаться несколько десятилетий. В метаногенной фазе образовавшиеся ранее жирные кислоты и водород преобразуются в СО<sub>2</sub> и СН<sub>4</sub>. Фильтрат старых полигонов имеет рН 8, характеризуется низким БПК (200 мг/л O<sub>2</sub>), низким отношением БПК/ХПК К (0,06), высоким содержанием аммонийного азота (750 мг/л) и низ-



ким содержанием железа (15 мг/л). Содержание меди и свинца в фильтрате мало зависит от возраста полигона и колеблется в широких пределах, составляя в среднем около 100 мг/л; среднее содержание кадмия – шесть мг/л.

Как следует из состава фильтрата, полигонное захоронение ТБО может оказать негативное влияние на грунтовые воды, в связи с чем в России регламентируется контроль за состоянием грунтовых вод (на расстоянии 50–100 м) выше и ниже полигона. Если содержание загрязняющих веществ превысит ПДК грунтовых вод, должны быть приняты меры по ограничению поступления этих веществ в грунтовые воды (до уровня ПДК).

Для предотвращения утечки фильтрата в окружающую среду основание полигона оборудуется противофильтрационным экраном (с коэффициентом фильтрации, по европейским нормам, не более десяти-девяти м/с), а для упрощения его сбора поверхность полигона планируется с уклоном (по европейским нормам, не менее двух процентов). В систему сбора фильтрата входят:

- перфорированные дренажные трубы, размещённые под складываемыми отходами на противофильтрационном экране и обкладываемые щебнем (фильтрат по трубам отводится на участок его обезвреживания);

- насосная станция;

- водосборный накопительный пруд (для снятия пиков потоков).

Новые европейские полигоны спроектированы с донным дренажом. На старых – фильтрат собирается с помощью окружающих дренажных канав или путём откачки из трубных скважин, размещённых в теле полигона или вокруг него.

Обезвреживание фильтрата можно производить либо в месте его образования, либо на муниципальных очистных сооружениях, к которым фильтрат транспортируется по герметичному трубопроводу (его стоимость в ряде случаев сопоставима с затратами на строительство самого полигона).

Практически применяют два метода обезвреживания фильтрата (дренажных сточных вод):

1. Биологическую очистку (в присутствии активных бактериальных культур, которые разрушают и используют органические вещества для синтеза своих клеток, например в установках с активным илом в аэрационных прудах и др.);

2. Химическую очистку (чаще всего реагентную – для очистки от тяжёлых металлов).

Объём образующегося фильтрата зависит от технологии захоронения – степени уплотнения ТБО и высоты их складирования. Высокий полигон более предпочтителен с точки зрения защиты окружающей среды (уменьшается удельный объём фильтрата). В соответствии с европейской практикой полигоны высотой менее десяти метров проектируют редко.

### **Добыча и утилизация биогаза**

При анаэробном разложении органической фракции отходов образуется биогаз. Из общего объёма метана, ежегодно поступающего в атмосферу, 40-70 % образуется в результате антропогенной деятельности, причём более 20 % из них приходится на объекты захоронения ТБО.

Подсчитано, что из одной тонны ТБО образуется около 200 м<sup>3</sup> биогаза. При этом, первые 15–20 лет при разложении одной тонны ТБО в год выделяется до 7,5 м<sup>3</sup> биогаза. В дальнейшем интенсивность его выделения резко сокращается.

Упрощенный процесс образования биогаза выражает реакция (конверсия глюкозы в метан):  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$ .

Основные компоненты биогаза (в %): метан 40–75 (обычно 50-60), диоксид углерода 30–40, азот 5–15, кислород от нуля до двух, сероводород и другие ток-

сичные соединения в небольших количествах.

В зависимости от содержания метана биогаз имеет теплоту сгорания от 15 до 20 МДж/м<sup>3</sup> (3 600 – 4 800 ккал/м<sup>3</sup>), что соответствует 50 % теплоты сгорания природного газа. В среднем теплота сгорания биогаза составляет 17,6 МДж/м<sup>3</sup>.

Биогаз относится к числу газов, создающих «парниковый эффект» и влияющих на изменение климата Земли в целом. Конвенция о предотвращении глобального изменения климата (ратифицирована Россией в 1992 году) обязывает страны-участницы минимизировать выбросы в атмосферу парниковых газов, таких, как метан и диоксид углерода. Отметим, что выброс в атмосферу одного м<sup>3</sup> метана по своим губительным последствиям для изменения климата эквивалентен выбросу в атмосферу около 25 м<sup>3</sup> диоксида углерода. В связи с этим уменьшение выбросов биогаза в атмосферу не только обеспечивает улучшение экологической ситуации вокруг полигонов с твёрдыми бытовыми отходами, но и способствует выполнению Российской Федерацией своих международных обязательств.

Как известно, биогаз – одна из причин возгорания твёрдых бытовых отходов на полигонах и свалках. При содержании в воздухе от 5 до 15 % метана и 12 % кислорода образуется взрывоопасная смесь.

Негативное воздействие биогаза на растительный покров проявляется в угнетении растительности на примыкающих к полигонам ТБО площадях вследствие насыщения биогазом порового пространства почвы и вытеснения из нее кислорода. Из-за негативного воздействия биогаза на окружающую среду владельцы полигонов в большинстве развитых стран законодательным образом принуждаются к предотвращению его стихийного распространения.

В связи с этим за рубежом в последнее десятилетие получили широкое распространение технологии добычи и утилизации биогаза. Например, в Германии, в 2000 годах добыча биогаза на полигонах с твёрдыми бытовыми отходами составила около 35 млн м<sup>3</sup>/год, что позволяет получать ежегодно 140 млн кВт/ч электроэнергии и экономить 14 тыс. т/год нефти.

На российских полигонах и свалках биогаз практически не собирается. Первые шаги в этом направлении осуществила фирма «Геополис», построившая совместно с компанией «Гронтмай» (Нидерланды) установки для сбора биогаза на двух подмосковных полигонах твёрдых бытовых отходов (в Мытищах и Серпухове). На каждом из этих полигонов, типичных для Московской области (площадь пять-семь га, средняя мощность отходов 10–12 м), образуется 600–800 м<sup>3</sup>/ч биогаза. На рис. 52 представлена схема добычи и утилизации биогаза, реализованная в Московской области.

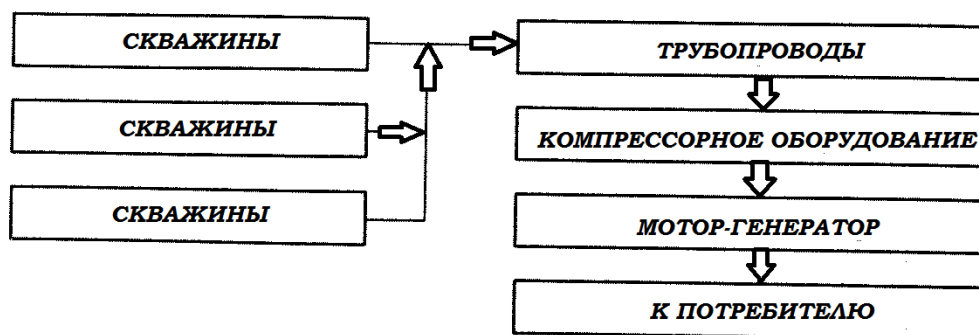


Рис. 52 – Схема добычи и утилизации биогаза

Для сбора биогаза используют вертикальные скважины, газопроводы и компрессорные станции, обеспечивающие подачу газа к мотор-генераторам (при использовании биогаза для производства электроэнергии). Компрессор создаёт не-

обходимое разрежение для сбора биогаза и его транспортирования по газопроводам. В российских условиях, как показала практика, наиболее целесообразно шнековое бурение скважин диаметром 250–300 мм (в сравнении: в Швеции бурят скважины диаметром 150–200 мм).

По европейским данным, выход биогаза из пробуренной скважины глубиной десять метров обычно достигает 10–20 м<sup>3</sup>/ч. Устойчивая работа скважины обеспечивается, если её дебит не превышает объёма вновь образующегося биогаза. Для обеспечения мощности один МВт требуется 15–20 пробуренных газовых скважин в теле полигона. Регулирование выхода биогаза с полигона осуществляется путём регулирования числа оборотов компрессора.

Расстояние между газовыми скважинами на участке сбора биогаза обычно не превышает 50–60 м. Если число газовых скважин на полигоне оптимально, а откосы полигона уплотнены, извлечение биогаза составляет до 80 % его образующегося объёма. Если биогаз собирается на, так называемых, биокартах с однородными отходами (европейские условия), извлечение биогаза повышается до 90%. На рис. 53 показан общий вид скважины для добычи биогаза на подмосковных полигонах.

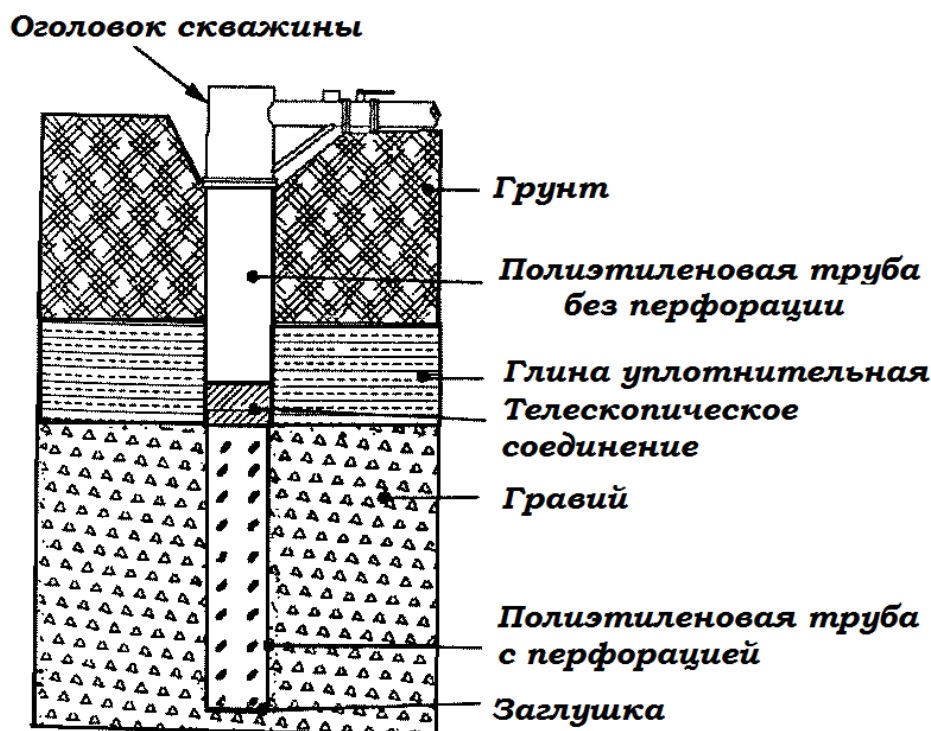


Рис. 53 – Общий вид скважины для добычи биогаза

**Инженерное обустройство скважины** включает несколько этапов:

- 1) в скважину ставится перфорированная стальная (пластмассовая) труба, заглушённая снизу и снабжённая фланцевым соединением в приустьевой части;
- 2) в межтрубное пространство засыпается пористый материал (гравий) с послойным уплотнением до глубины три-четыре метра от устья скважины;
- 3) сооружается глиняный замок для предотвращения попадания в скважину атмосферного воздуха;
- 4) устанавливается оголовок скважины, в виде металлического цилиндра с газозапорной арматурой для регулировки дебита скважины и контроля состава биогаза, а также с патрубком для присоединения скважины к газопроводу.

По данным шведской практики, при сборе биогаза на действующих полигонах возникают эксплуатационные сложности и в течение первых десяти лет часть

газовых скважин и фильтров должна быть обновлена (разрушение труб под действием проседания поступающих отходов, закупоривание фильтрующих труб).

Температура образующегося биогаза соответствует температуре тела полигона, которая при анаэробном разложении органической фракции твёрдых бытовых отходов повышается до 25–40 °С. Поскольку для отходов характерна высокая влажность, биогаз насыщается парами воды.

Так, на установке мощностью в один МВт ежедневно образуется 100 л конденсата. Его необходимо удалять из системы сбора биогаза и направлять на обезвреживание, поскольку по химическому составу он во многом аналогичен фильтрату. Уклон газопроводных труб в пределах полигона должен обеспечивать сбор конденсата (на европейских полигонах уклон труб не менее 20 %). Для удаления влаги из системы устанавливают конденсатоотводчики (стальные резервуары с гидрозатворами).

Биогаз, добываемый на полигонах, наиболее часто используется для производства электроэнергии. В российских условиях из одного м<sup>3</sup> биогаза можно получить 1,5 кВт/ч электроэнергии. Но, в настоящее время, значительный энергетический потенциал полигонов у нас не используется, тогда, как в большинстве развитых стран производство электроэнергии на основе биогаза стимулируется государством законодательно.

Например, в США и странах ЕС приняты законы, обязывающие энергетические компании использовать нетрадиционные источники энергии, а потребителей – покупать альтернативную энергию, хотя нормативно определённая стоимость альтернативной энергии, как правило, в 2,0–2,5 раза выше стоимости энергии, произведённой на основе традиционных энергоносителей (природный газ, нефтепродукты).

В ряде случаев электроэнергия, произведённая из биогаза, частично или полностью используется для нужд предприятия, эксплуатирующего полигон с твёрдыми бытовыми отходами. В Швеции традиционная форма утилизации биогаза – сжигание последних в газовых котлах для производства тепловой энергии. Газовые котлы чаще всего соединяются с местной системой теплоснабжения. Там же накоплен опыт утилизации биогаза для комбинированного производства электрической и тепловой энергии на стационарных газовых двигателях.

В тех случаях, когда возникают сложности с утилизацией биогаза (например, из-за больших расстояний до потребителя), собранный биогаз подвергают факельному сжиганию в специальных газовых горелках. Эта вынужденная и промежуточная мера способствует снижению поступления биогаза в атмосферу и вероятности возгорания ТБО на полигонах.

### **Мониторинг полигона**

Городская свалка бытовых отходов не только приводит к отчуждению больших земельных территорий, но и является источником загрязнения окружающей среды токсичными элементами.

Специалисты Гарвардского университета США с применением меченых атомов брома лития экспериментально установили гидравлическую связь между свалкой ТБО и достаточно отдалённым ручьём, в котором они обнаружили следы радиоактивного вещества, и сделали вывод: свалка ТБО служит причиной загрязнения подземных источников пресной воды.

В связи с этим при функционировании полигона должен осуществляться контроль за соблюдением требований охраны окружающей среды.

Чтобы исключить несанкционированное складирование отходов, содержащих радионуклиды, отходы при поступлении на полигон проходят выборочный (до 50 раз в год) радиационный дозиметрический контроль (рекомендуется использовать дозиметр типа ДВГ-06Т (масса до десяти кг) или геологоразведочные поиско-

вые приборы типа СРП-68-01 или СРП-88Н). Контроль осуществляется в двух точках – на въезде на полигон (у диспетчерской) и на разгрузочной площадке.

При совместном складировании на полигоне промышленных отходов и ТБО должно соблюдаться следующее санитарное условие: токсичность смеси отходов не должна превышать токсичность ТБО по данным анализа водной вытяжки – по интегральным показателям и по содержанию токсичных веществ. Контроль ТБО и машин на наличие токсичных промышленных отходов осуществляют ежедневно в двух точках – на въезде на полигон (у диспетчерской) и на разгрузочной площадке. Особенно тщательно должен контролироваться транспорт, не принадлежащий спецавтохозяйству (от организаций, осуществляющих самовывоз отходов).

Мониторинг полигона должен включать систематическое наблюдение за состоянием подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха, почвы (грунта) и снега, уровнем фильтрата, а также шумовым воздействием в зоне возможного влияния полигона. Контроль качества окружающей среды как метод экологического мониторинга базируется на лабораторных исследованиях, в ходе которых аналитический контроль токсичных загрязнений в почве и воде осуществляется с использованием методов химического и инструментального анализа.

Мониторинг позволяет оценить эффективность работы полигона и обеспечивается путём создания наблюдательных постов (пунктов (НП)). Их размещение, обустройство и эксплуатация в должной мере не оговорены в нормативных документах. Поэтому важнейшее значение имеет обобщение практики мониторинга на действующих полигонах (как в части периодичности отбора проб и количества контролируемых показателей, так и в части размещения наблюдательных постов).

Для контроля поверхностных вод требуются два наблюдательных пункта. Пункт НП 1, размещённый в верхней точке нагорной канавы или на естественном водоёме вблизи неё, позволяет оценить состав воды выше полигона. Для оценки состава воды ниже полигона НП 2 оборудуется в 10–20 м от окончания отводного канала, сбрасывающей воды из нагорных каналов на рельеф местности. К местам отбора проб прокладываются пешеходные дорожки, мостки и лестницы для спуска в нагорный или отводной каналы. Периодичность отбора проб поверхностных вод – два раза в год (весна, осень). В отобранных пробах определяются рН, химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода (БПК), поверхностно-активные вещества (ПАВ). Допустимые превышения показателей НП 2 по сравнению с НП 1 – не более 20 %.

Контроль над загрязнением грунтовых вод проводится с помощью проб, взятых из контрольных колодцев и скважин. Перед взятием пробы необходимо откачать воду. Колодцы глубиной от двух до шести метров выполняются из железобетонных труб диаметром 700–900 мм до отметки на 0,2 м ниже уровня грунтовых вод. Фильтрующее днище состоит из слоя щебня, толщиной 200 мм. В колодец спускаются по стационарной лестнице. При более глубоком залегании грунтовых вод их контроль производится с помощью скважин.

Практически периодичность отбора проб грунтовых вод составляет два раза в год (весна, осень). В отобранных пробах определяют рН, ХПК, БПК, ПАВ, хлориды. В Российской Федерации регламентируется контроль над состоянием грунтовых вод выше и ниже полигона. Если содержание загрязняющих веществ превышает предельно допустимую концентрацию грунтовых вод, то следует принять меры по ограничению поступления этих веществ в грунтовые воды (до уровня ПДК). Для контроля грунтовых вод оборудуют два наблюдательных пункта, учитывая при их размещении направления потоков подземных и поверхностных вод. НП 3 размещают примерно в 50 м выше полигона по потоку подземных вод (обычно вблизи НП1), а НП 4 – приблизительно на 50 м ниже полигона по потоку подземных вод. На крупных полигонах к НП прокладывают щебёночные автодороги шириной 3,5 м,

на небольших – пешеходные дорожки. При анализе проб обычно ограничиваются определением катионов  $\text{Na}^+$  и анионов  $\text{Cl}^-$  (для ТБО весьма характерно содержание поваренной соли  $\text{NaCl}$ ).

Система мониторинга полигона должна включать наблюдение за состоянием воздушной среды. Воздух контролируется на уровне дыхательных путей человека на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и в рабочей зоне. Требуются два НП: НП 5 устанавливаются на границе СЗЗ с учётом розы ветров и расположения ближайшего населённого пункта; НП 6 – на первой очереди полигона. Периодичность отбора проб воздуха на каждом НП – два раза в год (весна, осень). В воздухе определяют соединения, характеризующие процесс биохимического разложения ТБО и представляющие наибольшую опасность, – пыль, сероводород, оксиды углерода и азота, ртуть и аммиак.

На границе СЗЗ (ПДК<sub>мр</sub>, мг/м<sup>3</sup>): пыль – 0,5;  $\text{H}_2\text{S}$  – 0,008;  $\text{CO}$  – 5,0;  $\text{HgHCH}_4$  – 0;  $\text{NH}_3$  – 0,2. В рабочей зоне (ПДК<sub>мр</sub>, мг/м<sup>3</sup>): пыль – 4;  $\text{H}_2\text{S}$  – 10;  $\text{CO}$  – 20;  $\text{NO}$  – 5;  $\text{Hg}$  – 0,01;  $\text{NH}_3$  – 5.

Для анализа почвы (грунта) и снега устанавливается НП 7 вблизи НП 2 и вдали от автодорог. К нему предусматривается прокладка пешеходной щебёночной дорожки. Периодичность отбора проб – два раза в год (лето, зима). В почве определяют содержание бактерий группы кишечной палочки, ртуть и нефтепродукты. Их содержание не должно превышать показатели до строительства полигона более чем на 20 %.

Уровень фильтрата контролируется один раз в год (весна). Для контроля фильтрата сооружается НП8 – колодец, размещаемый на расстоянии в пять (шесть) метров от края кольцевой дороги у нижней точки откоса котлована. Контролируется размер слоя над щебёночным дном. Допускаемая толщина слоя – не более 70 % от высоты гидроизолированных откосов котлована.

Помимо мониторинга полигона проводится мониторинг СЗЗ шириной 500 м (осуществляет инженер-эколог или мастер совместно с владельцем территории). В этой зоне запрещаются строительство, разведение костров, устройство скважин и колодцев для питьевых целей.

### **Рекультивация полигона**

Полигон, выведенный из эксплуатации, подлежит рекультивации, которая представляет собой комплекс работ, проводимых с целью восстановления продуктивности и ценности территории, а также для улучшения окружающей среды.

Рекультивация осуществляется по окончании стабилизации закрытых полигонов, когда свалочный грунт достигает устойчивого состояния. После планировки поверхности, укладки плодородного слоя и его выравнивания высаживаются многолетние травы, кустарники и деревья.

В соответствии с действующей Инструкцией по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для ТБО после отсыпки полигона на проектную отметку его закрывают для приема твёрдых бытовых отходов. Последний слой отходов перед закрытием полигона тщательно уплотняется до плотности не менее 750 кг/м<sup>3</sup> и засыпается слоем грунта с обеспечением уклона к краям полигона. Для засыпки внешних откосов полигона используется растительный грунт, снятый при его строительстве, причём для защиты от выветривания и смыва грунта с откосов их озеленяют непосредственно после укладки изолирующего слоя (посадка защитных насаждений).

Обычно срок стабилизации составляет два-три года (сенокосно-пастбищное и лесохозяйственное направления рекультивации); в случае сельскохозяйственного направления рекультивации срок стабилизации закрытых полигонов принимает

ся 10–15 лет. В конце процесса стабилизации завозится грунт для засыпки и планировки образовавшихся провалов (технический этап рекультивации, включающий также исследования состояния свалочного тела и его воздействия на окружающую среду).

После планировки поверхности, укладки плодородного слоя толщиной 20 – 30 см и его выравнивания осуществляется биологический этап рекультивации полигонов – посадка многолетних трав – клевера, овсяницы, тимофеевки, мятлика и др. (норма высева семян многолетних трав – 15–30 кг/га), кустарников и деревьев (предпочтительно берёзы или клёна).

На стадии рекультивации полигона решаются вопросы дегазации территории (система газовых скважин, газопроводов и прочее).

Следует отметить, что рекультивация несанкционированных свалок весьма сложна и требует выполнения большого объёма подготовительных работ (включая экологические, гидроэкологические, геологические, почвенные, атмосферные и другие исследования) для принятия решений по консервации фильтрата, утилизации биогаза, устройству экранов, утилизации отходов и другое.

### Дробление отходов

**Дробление** – это процесс уменьшения размеров кусков материала разрушением их под действием внешних сил. Оно служит одной из вспомогательных операций, применяемых при переработке отходов.

Целесообразность включения операций дробления в технологические схемы переработки ТБО определяется в основном требованиями к крупности материала соответствующих переделов переработки – обогатительного, термического, биотермического и других, а также необходимостью освобождения отходов от упаковки перед сепарацией ТБО (например, если сбор и доставка ТБО на сортировку осуществляется в полиэтиленовых мешках).

Основной принцип дробления техногенного сырья может быть заимствован из опыта обогащения полезных ископаемых – «не дробить ничего лишнего». Это означает, что дроблению следует подвергать не все исходные ТБО, а лишь их фракцию, не удовлетворяющую по крупности требованиям последующего передела. В частности, исходя из условий сортировки, легкообогатима фракция – 250 мм (-300 мм), поэтому дробить следует лишь крупнокусковую фракцию, выход которой относительно невелик.

Дробление производится в специальных машинах – дробилках методами раздавливания, раскалывания, истирания, удара, разрывания (рис. 54) или их сочетанием, а также с помощью взрыва; кроме того, в некоторых дробилках на куски материала воздействуют изгибающие силы.

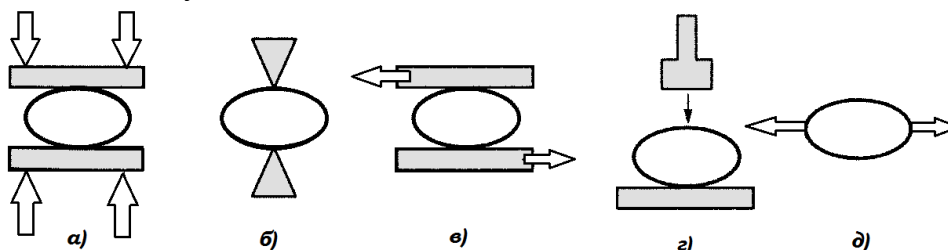


Рис. 54 – Принципиальные способы дробления:

**а** – раздавливание; **б** – раскалывание; **в** – истирание; **г** – удар; **д** – разрывание

Выбор способа дробления зависит от физических свойств дробимого материала и крупности исходного материала. Для очень твёрдых материалов наиболее

рационально дробление ударом или раздавливанием, для вязких – раздавливанием или ударом в соединении с истиранием. Хрупкие материалы дробят способом раскалывания, волокнистые типа текстиля – разрыванием. Крупный исходный материал (бетонные и железобетонные отходы, руды и др.) чаще всего дробят раздавливанием и раскалыванием (крупное дробление), тонкое измельчение осуществляется главным образом ударом и истиранием.

Физическая сущность процессов дробления и измельчения одинакова, в результате дробления образуется преимущественно кусковой продукт, в результате измельчения – в основном порошкообразная масса.

Классификация основного оборудования для измельчения твёрдых продуктов следующая:

1. Измельчители раскалывающего и разламывающего действия – щековые, конусные, зубовалковые и другие дробилки;

2. Измельчители раздавливающего действия – гладко-валковые дробилки, роliko-кольцевые, вертикальные, горизонтальные и другие мельницы;

3. Измельчители истирающе-раздавливающего действия – шнековые измельчители, бегуны, катково-тарельчатые, шаро-кольцевые, бисерные и другие мельницы;

4. Измельчители ударного действия – молотковые измельчители, бильные, шахтные мельницы, дезинтеграторы и дисмембраторы, центробежные, барабанные, газоструйные мельницы;

5. Ударно-истирающие и коллоидные измельчители – вибрационные, планетарные, виброкавитационные и прочие мельницы; реактроны;

6. Прочие измельчители (пуансоны, пилы и другое).

По размеру кусков исходного сырья и конечного продукта измельчение условно делят на несколько классов, исходя из которых выбирают измельчающее оборудование.

**Молотковая шахтная мельница.** Для переработки кусковых отходов лесопиления и деревообработки в технологическую щепу используются рубильные, а для получения более мелких частиц, например, в процессе приготовления компоста, используют молотковые шахтные мельницы типа ММТ и ММА.

Шахтная мельница представляет собой (рис. 55) молотковую дробилку, материал из которой эвакуируется восходящим потоком воздуха. Корпус мельницы монтируется на отдельном фундаменте и соединён с двигателем упругой муфтой. Ротор вращения находится в опорно-упорных подшипниках. На роторе шарнирно закреплены било-держатели и билы («пальцы»). Изнутри к корпусу крепятся съёмные бронеплиты. Со стороны загрузки в корпусе предусмотрены закрывающиеся люки для ревизии бил и било-держателей.

К достоинству конструкции следует отнести возможность доизмельчения недостаточно измельченных частиц, которые пневматически возвращаются в корпус мельницы. Основная сложность при эксплуатации дробилок и шахтных мельниц связана с необходимостью периодической замены изнашиваемых элементов.

**Щековая дробилка** (рис. 56) осуществляет дробление путём раздавливания дробимых кусков между вертикальной и наклонной плоскостями (щеками). Материал загружается в приемное отверстие между щёками. По мере уменьшения размеров куски опускаются вниз к выходной щели.

Для дробления материалов повышенной прочности (в том числе техногенного сырья, включая отходы железобетона и другие строительные отходы, отходы футеровки термического оборудования, металлургические шлаки, отходы керамики и проч.) весьма эффективны **вибрационные щековые дробилки** типа ВЩД, созданные специалистами предприятия «Механобртехника» (Санкт-Петербург).



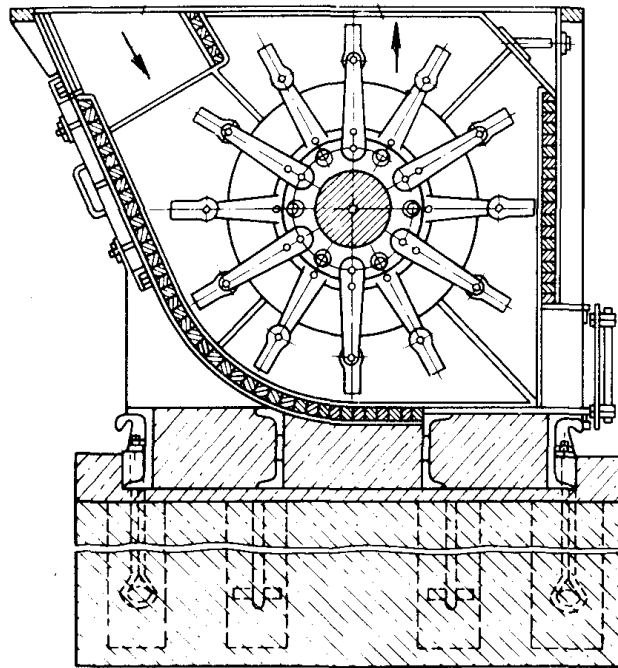


Рис. 55 – Молотковая шахтная мельница:

1 – подача компоста и частичная подача воздуха (основная часть воздуха подаётся с двух сторон вдоль оси мельницы); 2 – вынос дроблёного материала

Крупность продукта, дроблённого в такой дробилке, в два раза ниже, чем в обычной, при одинаковой производительности (высокая частота ударов щек обеспечивает повышенную степень дробления – 10–20 и выше, причём для разрушения материала вследствие ударно-вибрационного воздействия щек, требуются меньшие усилия, чем в обычных щёковых дробилках).

**Дробилка типа ВЩД** отличается простотой конструкции (рис. 57). Дробление материала осуществляется между двумя щеками 4, подвешенными к корпусу 1 на торсионах 2. Щеки совершают синхронные колебания (частота 800–1500 в минуту) под действием вибровозбудителей 5, которые одновременно вызывают вертикальные колебания дробилки на мягких пружинах 3. За счёт направленного вибрационного воздействия щек на дробимый материал обеспечивается повышенная производительность машины – до 100 т/ч при использовании наиболее крупной дробилки с отверстием размером 1200•1500 мм. При максимальной крупности исходного питания 1000 мм крупность готового продукта после дробления материала средней прочности в этой дробилке составляет 70 мм.

Дробилки ВЩД характеризуются низким энергопотреблением (мощность привода наиболее крупной дробилки составляет 2•55 кВт). Масса самой крупной дробилки 54,0 т, наиболее мелкой – 1,4 т (размеры приемного отверстия 80х300 мм, наибольшая крупность питания 65 мм, крупность готового продукта 15 мм, мощность привода 275 кВт). Габариты самой крупной дробилки 4000•3700•4000 мм, самой мелкой 1500•1240•1400 мм.

**Роторные дробилки**, применяемые для дробления техногенного сырья – отходов, бывают: молотковые, ножевые и дисковые; значительно реже применяются растирающие дробилки (рашпили) и дробилки других типов.

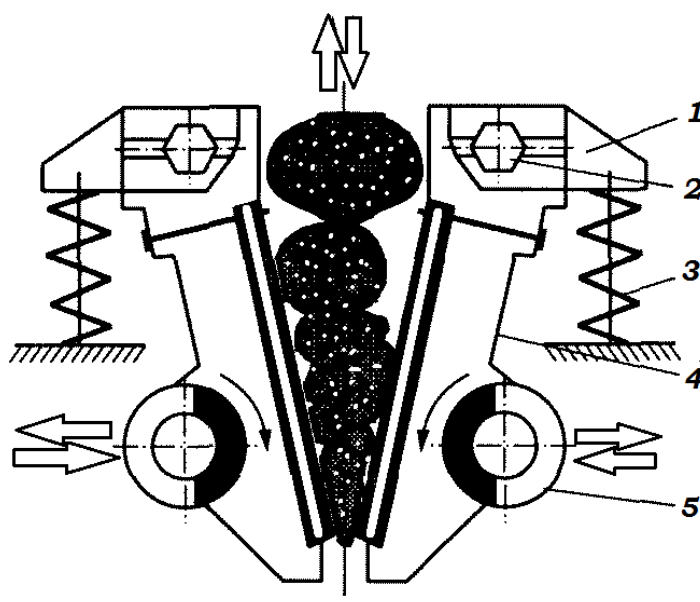


Рис. 56 – Вибрационная щековая дробилка типа ВЩД:

1 – корпус; 2 – торсионы; 3 – мягкие пружины; 4 – щека; 5 – вибровозбудители

Молотковые дробилки включают в свой состав дробильную камеру с решётчатой нижней частью, через которую разгружается дроблённый материал, и вращающийся вал с жёстко закреплёнными или шарнирно подвешенными на нём билами (ударными вращающимися инструментами, называемыми молотками).

Молотковые дробилки выпускают двух типов – горизонтального (рис. 57) и вертикального.

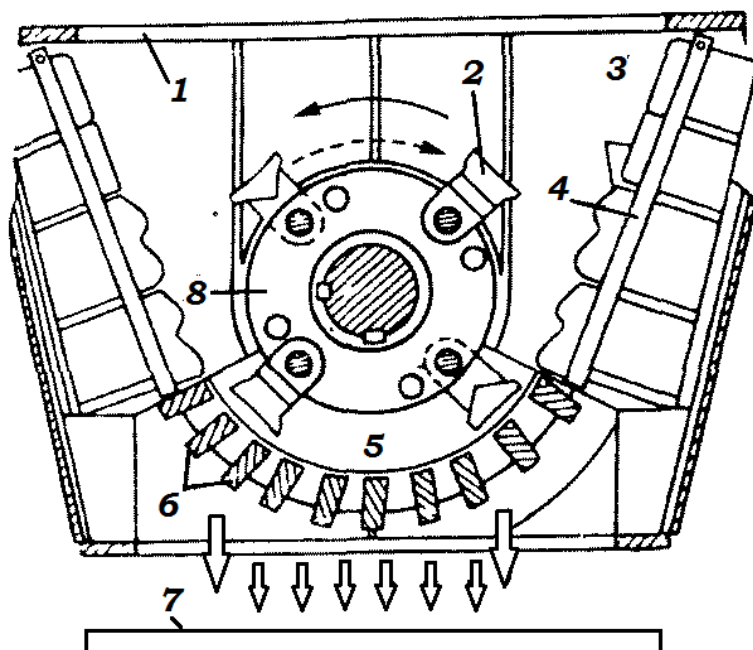


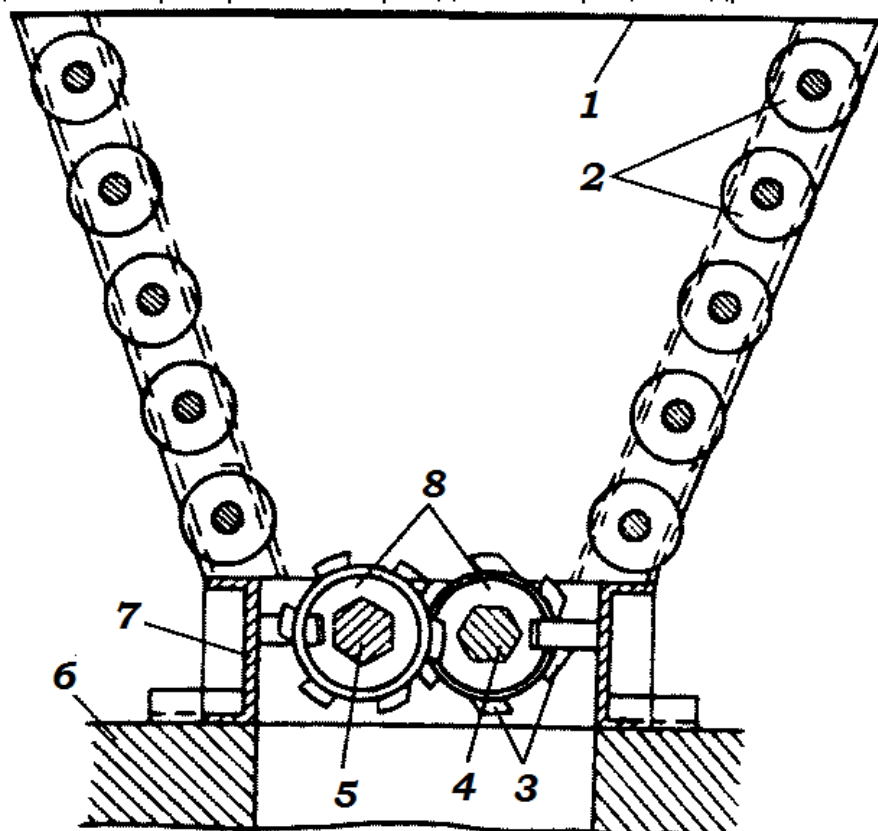
Рис. 57 – Молотковая дробилка горизонтального типа:

1 – загрузочное отверстие; 2 – молотки; 3 – режущие ножевые элементы; 4 – стенка корпуса; 5 – зона доизмельчения; 6 – решетка; 7 – конвейер; 8 – ротор

На рис. 57 показана молотковая дробилка горизонтального типа для дробления ТБО. Материал поступает через загрузочное отверстие 1 в рабочую камеру. Дробящими элементами дробилки являются молотки 2, укрепленные на роторе 8, и режущие ножевые элементы 3, установленные на стенке 4 (некоторая подвижность стенки устраняет заклинивание дробилки при попадании крупногабаритных пред-

метов). Отходы измельчаются до 100 – 125 мм, проходят через решётку **6** и поступают на конвейер **7**. Недоизмельчённый материал скапливается над решёткой в пространстве **5** и измельчается при реверсивном движении ротора **8**.

**Роторно-дисковые дробилки** включают один или два вращающихся вала, на которых закреплены предварительно напряженные режущие диски (как правило, зубчатые). Режущие кованные зубчатые диски изготавливаются из высокопрочных и износостойких материалов. Распорные кольца, насаженные между режущими дисками, защищают валы роторов от повреждений в процессе дробления.



*Рис. 58 – Роторно-дисковая дробилка для дробления крупногабаритных отходов:*

1 – бункер; 2 – ролики; 3 – зубья; 4 и 5 – валы;  
6 – станина; 7 – рама; 8 – диски

На рис. 58 приведена роторно-дисковая дробилка для дробления крупногабаритных отходов (изношенные автопокрышки, громоздкая упаковка, мебель и т.п.). В ней два параллельных вала **4** и **5** вращаются встречно с различной частотой. Каждый вал приводится от отдельного двигателя.

На валах в шахматном порядке установлены режущие диски **8** с заостренными элементами (зубьями) **3**, которые обеспечивают захват, измельчение и удаление отходов, а также их перемещение в промежутки, образованные между соседними дисками валов. На раме **7** смонтировано приемное и направляющее устройство в виде бункера **1** прямоугольного сечения, по боковым стенкам которого установлены ролики **2**, образующие как бы наклонные рольганги, продвигающие материал к режущим зубьям. Когда в дробилку попадают слишком твердые или большие куски материала, оба вала (или один из них) на короткое время приостанавливаются, а затем начинают вращаться в обратном направлении, выталкивая материал, который не может пройти сквозь дробящие элементы, после чего работа аппарата стабилизируется.

## **Сепарация твёрдых бытовых отходов**

При вовлечении ТБО в промышленную переработку в качестве техногенного сырья, как при комплексной переработке многокомпонентных природных сырьевых материалов (руд, горно-химического сырья, угля и прочего), особую роль играют обогатительные процессы – подготовительные операции, позволяющие выделить те или иные ценные компоненты для вторичного использования, удалить опасные компоненты и оптимизировать состав отходов для последующих переделов переработки. Сепарация ТБО, аналогично обогащению других сырьевых материалов (в частности, полезных ископаемых), представляет собой совокупность процессов первичной обработки сырья с целью извлечения ценных компонентов, удаления опасных и балластных компонентов, выделения фракций отходов, оптимальных по составу для переработки тем или иным методом.

В отличие от обогащения полезных ископаемых, всегда связанного с загрязнением окружающей среды, сепарация ТБО как техногенного сырья имеет прямое природоохранное значение, поскольку выход хвостов сепарации всегда меньше массы исходного сырья, а состав отходов для последующих переделов переработки оптимизируется с точки зрения гомогенизации, способности к горению, снижения содержания опасных и балластных компонентов, что повышает экологическую безопасность промышленной переработки муниципальных отходов. Сепарация ТБО и их обогащение служат эффективной операцией перед термо- и биообработкой отходов. Так, по опубликованным данным, предварительная сортировка ТБО, удаление металлических компонентов, отработанных электро-батареек и аккумуляторов, некоторых видов синтетических материалов уменьшает (в %) при сжигании выбросы ртути и мышьяка на 70–75, свинца – на 40, при этом эффективность сжигания и ферментации ТБО повышается, а состав продуктов и отходов переработки улучшается.

### **Процессы сепарации**

Принципиально возможны три взаимодополняющих друг друга направления сепарации ТБО:

- селективный сбор (покомпонентный, пофракционный) ТБО 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 сбор коммерческих отходов (отходы рынков, магазинов, учреждений, школ и др.) с последующим извлечением из них ценных компонентов комбинированными методами ручной и механизированной сортировки;
- сортировка в заводских условиях комплексной переработки ТБО, преимущественно механизированная (ручная сортировка неподготовленных отходов жилого фонда на ленте тихоходного конвейера малоэффективна; в ряде случаев технологическая схема может включать элементы ручной сортировки крупнокусковой фракции ТБО).

Во многих странах практикуется селективный сбор у населения отходов потребления (макулатура, текстиль, пластмасса, стеклотара, металлы и другое), что предотвращает попадание в ТБО ряда ценных компонентов, перерабатываемых или используемых повторно, а также опасных компонентов. Установлено, что при больших и постоянно возрастающих объёмах образования ТБО (ежегодный прирост не менее чем на три – пять %) проблема ТБО не может быть решена промышленными методами и сортировка всех ТБО на месте их образования, в бытовых условиях практически невозможна и не имеет смысла. Тем не менее, сбор у

населения отсортированного, незагрязнённого вторичного сырья не противоречит промышленной переработке ТБО и должен рассматриваться как составная часть решения комплексной проблемы отходов города. Так, попадание в ТБО некоторых опасных отходов (отработанные люминесцентные лампы, аккумуляторы и другое) можно практически предотвратить только организацией их селективного сбора. При этом предпочтителен не покомпонентный сбор вторсырья, а пофракционный (все ценные компоненты – в одну ёмкость).

Главное направление сепарации смешанных ТБО – механизированная их сортировка (покомпонентная и пофракционная) в промышленных условиях в технологиях комплексной переработки. Процессы механизированной сепарации ТБО, использующие естественные или искусственно усиленные различия в физических свойствах разделяемых компонентов, основаны на законах движения этих компонентов в разделительной среде под воздействием сил, создаваемых тем или иным методом в зоне сепарации.

Процессы, которые могут быть использованы для покомпонентной и пофракционной сортировки ТБО, в основном давно применяются при обогащении руд или другого минерального сырья: гравитация, флотация, магнитная и электрическая сепарация, аэросепарация и прочие.

При обогащении ТБО в качестве среды разделения используется вода («мокрые процессы») или (преимущественно) воздух («сухие процессы»). Наиболее приемлемы «сухие способы» переработки ТБО. Их преимущества: **1)** отсутствие воды и загрязнённых сточных вод, задачи очистки и удаления которых обычно решаются с трудом и требуют больших затрат; **2)** отсутствие резкого неприятного запаха; **3)** рентабельность транспортирования выделенных фракций отходов на дальние расстояния (при «мокром способе» разделения требуется дополнительная сушка).

При извлечении макулатуры (и одновременно разделении ТБО на две фракции – лёгкую и тяжёлую) основным процессом служит аэросепарация. Чёрные металлы как сильномагнитные вещества извлекают магнитной сепарацией. Для выделения из ТБО цветных металлов используется электродинамическая сепарация, а также флотация и гравитация. Полимерная плёнка отделяется от макулатуры электросепарацией. Специальные методы обогащения разработаны для извлечения текстильных компонентов, выделения оловосодержащих компонентов из магнитного концентрата.

Число обогатительных операций, их вид и порядок подбора в технологическую линию зависят от морфологического и гранулометрического состава, влажности отходов, определяются задачами сортировки в каждом конкретном случае и закономерностями обогащения сырьевых материалов.

Обобщение опыта промышленной практики сортировки ТБО показывает, что качество выделяемых при механизированной сортировке продуктов, за исключением металлов, ниже, чем при ручной сортировке. С этих позиций, а также с учётом реальной ценности материалов и условий рынка в качестве основных полезных компонентов ТБО при использовании механизированной сортировки следует рассматривать в основном чёрные и цветные металлы, содержание которых в ТБО постоянно возрастает (ежегодно в российские ТБО попадает и безвозвратно теряется до двух млн т стали и около 250 тыс. т цветных металлов, в том числе до двух тыс. т олова в составе консервной тары). Металлы необходимо выделять также по той причине, что они не должны попадать в процессы сжигания и ферментации.

Исходя из этого в общем случае рациональная схема механизированной сортировки ТБО должна предусматривать:

- извлечение в самостоятельные продукты чёрных и цветных металлов;
- разделение потока отходов на горючую и биоразлагаемую фракции (соот-

ветственно для термообработки, биообработки или захоронения);

➤ удаление опасных и части балластных компонентов.

Главное назначение рациональной сортировки ТБО, покомпонентной и пофракционной, – оптимизация сопряжённых производств, а извлечение тех или иных продуктов для вторичного использования – это важная, но частная задача сортировки. Перераспределяя материальные потоки отходов, сортировка практически вдвое сокращает потребность в дорогостоящем термическом и биотермическом оборудовании. В то же время капитальные затраты на саму сортировку не превышают 10–15 % затрат на термо- и биообработку.

Технология сепарации ТБО включает, как правило, несколько операций, системно связанных между собой.

**Технологическая операция** – это обработка материала с использованием того или иного метода для изменения качества материала или его разделения на продукты различного качества. Эффективность технологии во многом зависит от последовательности операций, технологического режима и установки специфических аппаратов в каждой операции.

**Технологической схемой** называется графическое изображение последовательности технологических операций. Принципиальная технологическая схема отражает главные особенности технологии.

**Схемой цепи аппаратов** называется графическое изображение последовательности установленных технологических и подъёмно-транспортных аппаратов для обработки и транспортирования материала в соответствии с технологической схемой.

**Основные технологические показатели сепарации ТБО** – это извлечение компонентов в продукт сепарации, содержание компонента в этом продукте и выход продукта, обычно выражаемые в процентах (или в долях единицы).

**Извлечение** – отношение массы компонента в продукте сепарации к массе компонента в исходном. **Содержание** – отношение массы компонента в продукте сепарации к массе продукта сепарации. **Выход** – отношение массы продукта сепарации к массе исходного материала.

Технологические показатели служат для оценки процесса сепарации. Получаемые в результате сепарации ТБО продукты для вторичной переработки должны удовлетворять действующим стандартам, которые гарантируют эффективность их вторичной переработки, а выделяемые полупродукты (фракции отходов) должны соответствовать требованиям конкретного производства (термического, биотермического или иного), куда они будут направлены.

## Грохочение

**Грохочение** – это процесс разделения твёрдых материалов на классы по крупности, осуществляемый на просеивающей поверхности специальных аппаратов – грохотов. В зависимости от назначения в технологической схеме переработки различают грохочение трёх видов:

1) подготовительное – перед обогащением, той или иной переработкой, дроблением;

2) самостоятельное – для выделения определённого класса крупности в качестве готового или отвального продукта;

3) обезвоживающее – для удаления из продукта основной массы воды после процессов мокрого обогащения (переработки).

Грохочение широко распространено и универсально, может быть применимо ко всем твёрдым материалам без исключения.

Барабанный грохот (рис. 59) – наиболее распространенный аппарат, используемый при сепарации ТБО. Барабанные грохоты весьма часто применяют для промывки глинистых руд, сортировки песка, гравия и щебня, а также при обогащении асбестовых, графитовых и некоторых других руд.

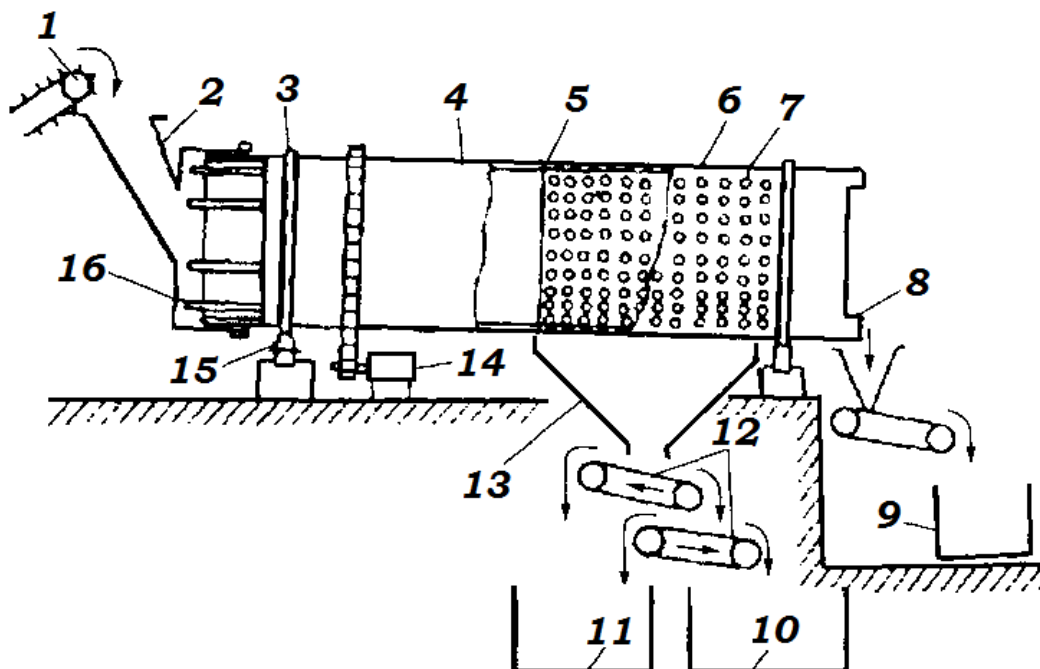


Рис. 59 – Схема установки барабанного грохота:

1 – питающий конвейер; 2 – течка; 3 – бандаж; 4 – загрузочная секция; 5 – барабан; 6 – рабочая секция; 7 – отверстия; 8 – бункер надрешетного продукта; 10 и 11 – бункеры; 12 – конвейер; 13 – бункер подрешетного продукта; 14 – электродвигатель; 15 – опорные колёса; 16 – разрыхляющее устройство

Барабанный грохот для сепарации ТБО был разработан в Японии. Грохот имеет две секции: загрузочную 4 с отражающими и разрыхляющими перегородками 16 и рабочую 6. Грохот установлен с наклоном в сторону выходного отверстия 8. Корпус грохота бандажами 3 опирается на колёса 15. Вращение барабану 5 сообщается от электродвигателя 14 через зубчатую пару. В процессе вращения барабана 5 обрабатываемый материал, поступивший с помощью конвейера 7 через течку 2 в загрузочную секцию грохота, перемещается внутри корпуса от загрузочного конца к разгрузочному через рабочую зону 6 с отверстиями 7. Надрешетный продукт собирается в бункере 9, подрешетный – из бункера 13 сбрасывается на конвейер 12, где дополнительно сортируется и накапливается в бункерах 10 и 11.

### Магнитная сепарация

Магнитная сепарация – процесс разделения твёрдых материалов в магнитном поле с использованием различий их магнитных свойств (главным образом магнитной восприимчивости). Этот процесс широко применяют при обогащении отходов производства и потребления, обогащении руд (железных, марганцевых, титановых, медно-никелевых, вольфрамовых, редкометалльных), для удаления железистых примесей из кварцевых песков, регенерации ферромагнитных утяжелителей в установках для разделения материалов в тяжёлых суспензиях. Магнитному обогащению обычно подвергается материал крупностью –  $200 \pm 0,1$  мм.

**Электромагнитный сепаратор шкивного типа** (рис. 60) представляет собой барабан, приводящий в движение конвейерную ленту. Основным узел электромагнитного шкива – вращающаяся магнитная система, встроенная в ведущий

барaban ленточного конвейера.

Электромагнитный шкив диаметром (в промышленных сепараторах) от 630 до 1000 мм состоит из вала **1** с насаженными на него дисками **2** из динамной стали и цилиндрическими катушками **3** с проводниками для постоянного тока. Катушки закрываются кольцами **4** из немагнитного материала, ток к ним подводится через неподвижные щётки **5**.

Магнитное поле существует на всей поверхности шкива **6**. Притянувшиеся к шкиву магнитные компоненты удаляются конвейерной лентой. В нижней части шкива лента отрывает притянувшиеся к нему магнитные продукты. Под шкивом целесообразно устанавливать шибер, регулирующий выход магнитного и немагнитного продуктов.

По данным практики, магнитный шкив должен работать при подаваемом напряжении не менее 10–15 В, обеспечивающем извлечение ферромагнитных предметов массой более 50 г.

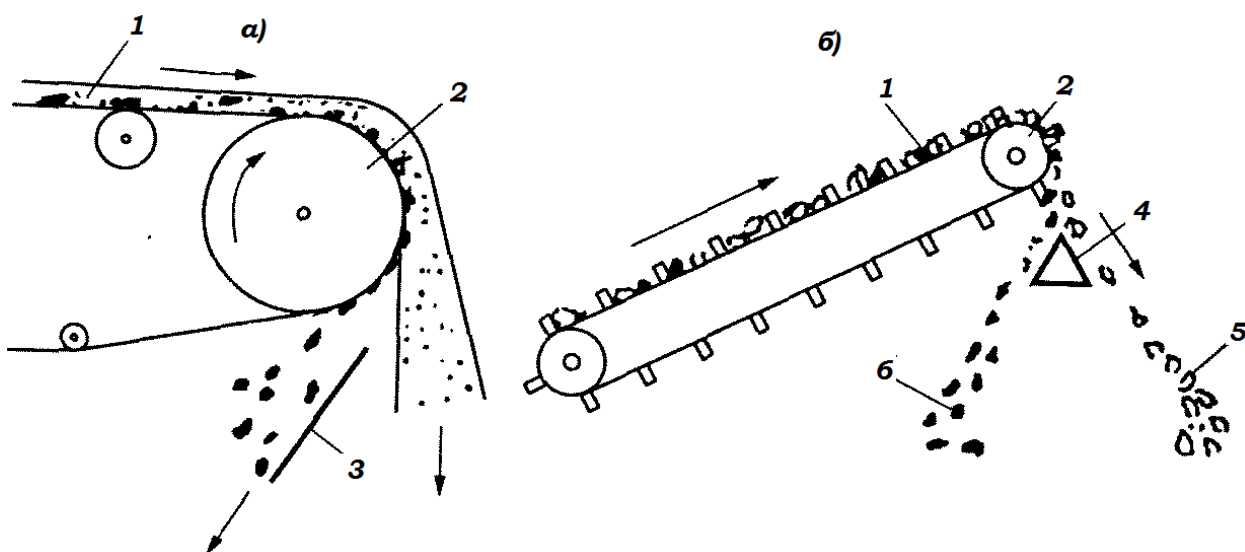


Рис. 60 – Схемы установки шкивного магнитного сепаратора:

- а – отходы транспортируются горизонтальным ленточным конвейером;
- б – дроблёные отходы транспортируются наклонным ленточным конвейером с рифлями; **1** – ленточный конвейер; **2** – магнитный шкив; **3** – шибер (из немагнитного материала); **4** – отсекающий элемент (из немагнитного материала); **5** – немагнитный продукт; **6** – магнитный продукт

**Барабанные сепараторы** с встроенным во вращающийся барабан неподвижным постоянным или электрическим магнитом нашли применение в зарубежной практике при магнитной сепарации ТБО и других отходов. Конструкция барабанного магнитного сепаратора подобна конструкции шкивного сепаратора, но барабан не связан непосредственно с транспортирующим средством.

Магнитное поле такого сепаратора распространяется на 180° окружности барабана (обечайка из немагнитного материала вращается вокруг неподвижной магнитной системы). Ферромагнитные компоненты, притянувшиеся к барабану, проходят до немагнитной зоны и там отрываются от поверхности барабана.

Барабанный сепаратор устанавливают так, чтобы поток отходов поступал или непосредственно на барабан (рис. 61, а), или проходил бы под барабаном (рис. 61, б). Для повышения эффективности сепарации материал к барабану подают тонким слоем (например, с помощью вибропитателя).



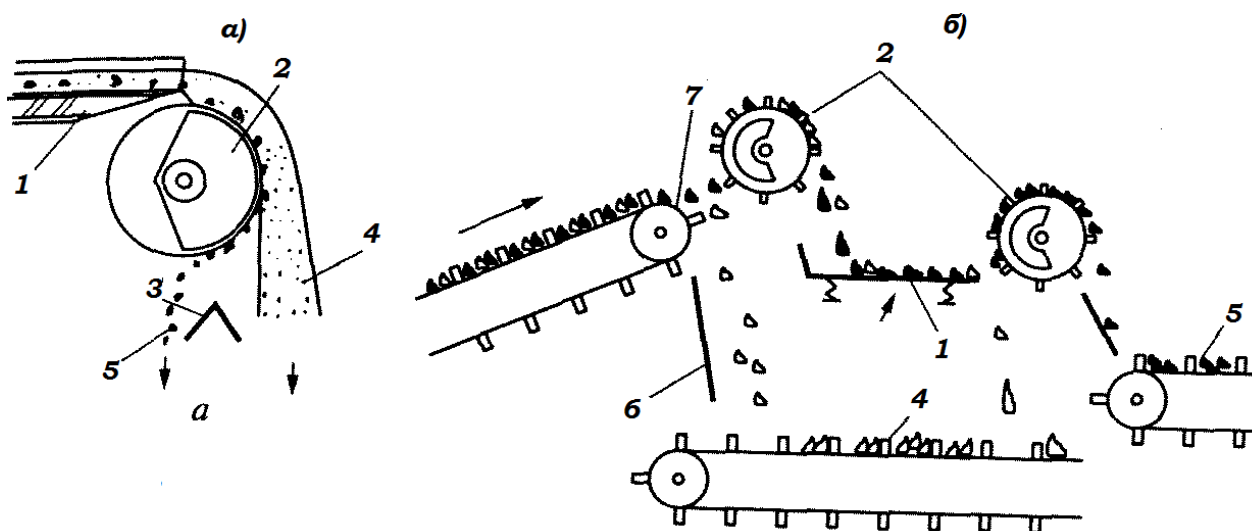


Рис. 61 – Схема установки барабанного магнитного сепаратора:  
 а – с подачей отходов на барабан; б – под барабан; 1 – вибропитатель;  
 2 – магнитный барабан; 3 – отсекаватель (из немагнитного материала);  
 4 – немагнитный продукт; 5 – магнитный продукт;  
 6 – шибер (из немагнитного материала); 7 – ленточный конвейер с рифлями

Практика показывает, что при извлечении чёрных металлов, особенно в голове процесса сепарации ТБО, вместе с ними в магнитный продукт попадают посторонние примеси (макулатура, текстиль, полимерная плёнка), поэтому в технологической схеме обязательно предусматривается перечистка магнитного продукта в магнитном поле для удаления немагнитных включений.

Наиболее высокие показатели в операции перечистки обеспечивает сепарация в магнитном поле подвешенного сепаратора, на ленте которого поддерживают магнитную индукцию 150–170 мТл (подаваемое напряжение – не более 180 В). Замена подвешенного магнитного сепаратора на магнитный шкив снижает извлечение ферромагнитных компонентов на 10–15 %.

### Электродинамическая сепарация

**Электродинамическая сепарация** – это комбинированный процесс магнитного обогащения, основанный на использовании различий в магнитной восприимчивости обогащаемых материалов. Область применения – извлечение из потока твёрдых отходов цветных металлов, а также разделение цветных металлов по видам. Преимущественная крупность извлекаемых компонентов 40–50 мм.

**Установка для извлечения цветных металлов из потока ТБО** с подачей материала в зону сепарации в область максимального воздействия бегущего магнитного поля (разработка США (рис. 62)).

Отходы из бункера 5 подаются на конвейер 4, которым они транспортируются и с помощью направляющей 2 вводятся в зону сепарации, где на цветные металлы воздействует максимальный поток, создаваемый индуктором 1, включаемым по сигналу детектора 3. В итоге сортировки цветные металлы попадают в бункер концентрата 6 либо в бункер промпродукта 7; весь остальной материал выводится из процесса в виде хвостов 8. Следует отметить, что благодаря направляющей 2 механическое отскакивание материала от поверхности индуктора сводится к минимуму, что обеспечивает плавное изменение траектории потока ТБО и способствует повышению извлечения металлов.

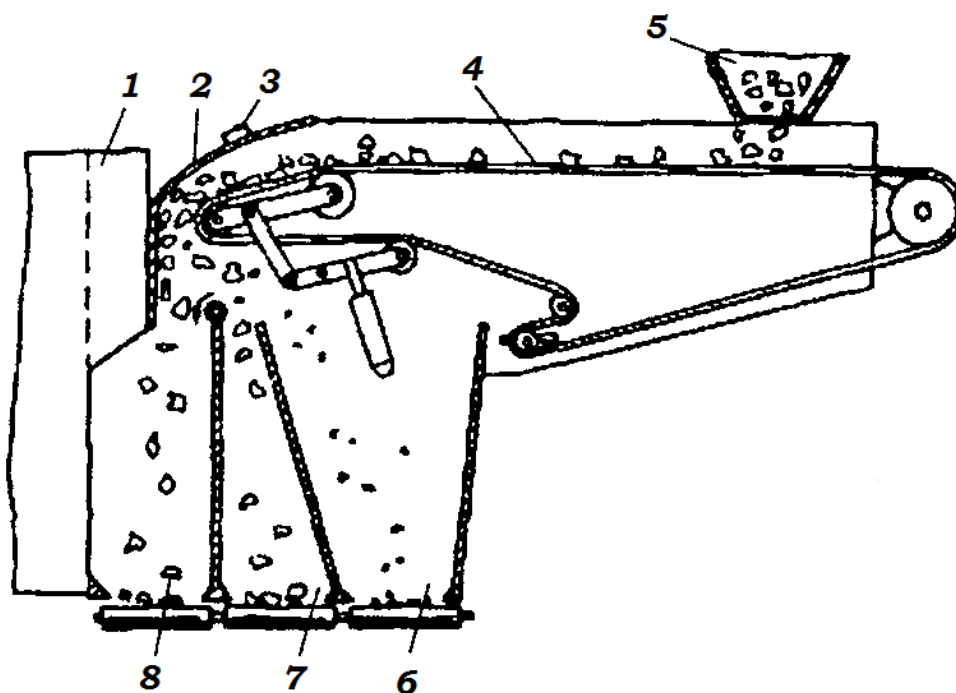


Рис. 62 – Установка для извлечения цветных металлов из ТБО с вертикально установленным сепаратором:  
 1 – индуктор, 2 – зона сепарации, 3 – детектор,  
 4 – конвейер, 5 – бункер, 6 – бункер концентрата,  
 7 – бункер промпродукта, 8 – прочий отход

### Аэросепарация

**Аэросепарация** – это процесс обогащения в движущейся газовой (воздушной) среде, основанный на использовании различий в плотности компонентов и их скорости витания.

Аэросепарацию (пневмосепарацию) применяют при обогащении полезных ископаемых (угля, асбеста) и техногенного сырья (ТБО, дробленого электрокабельного лома – удаление неметаллических компонентов, дробленого демеркуризованного стекло-боя отработанных ртутных ламп, других отходов). Аэросепарация эффективна для обеспыливания материалов, выделения тонких классов крупности при сухом измельчении строительных материалов (воздушный сепаратор работает в замкнутом цикле с аппаратом измельчения).

При обогащении ТБО, аэросепарацию применяют для разделения потока отходов на лёгкую и тяжёлую фракции (это необходимо прежде всего по условиям технологии извлечения металлов), а также для выделения горючих компонентов с целью последующей термической переработки (в принципе возможна не только энергетическая утилизация лёгких компонентов) и для очистки от примесей компоста, полученного из ТБО.

При аэросепарации ТБО в лёгкую фракцию переходят макулатура, полимерная пленка, некоторые текстильные компоненты (в основном синтетические), уличный смёт и прочее. Рекомендуемая крупность аэросепарации ТБО – 250 мм.

Аэросепаратор (рис. 63) предназначен для разделения дробленых отходов. Здесь отходы обрабатываются в измельчителе 2 с рабочим колесом 3, вращающимся на валу 1. Измельченные отходы подхватываются горизонтальным потоком воздуха.

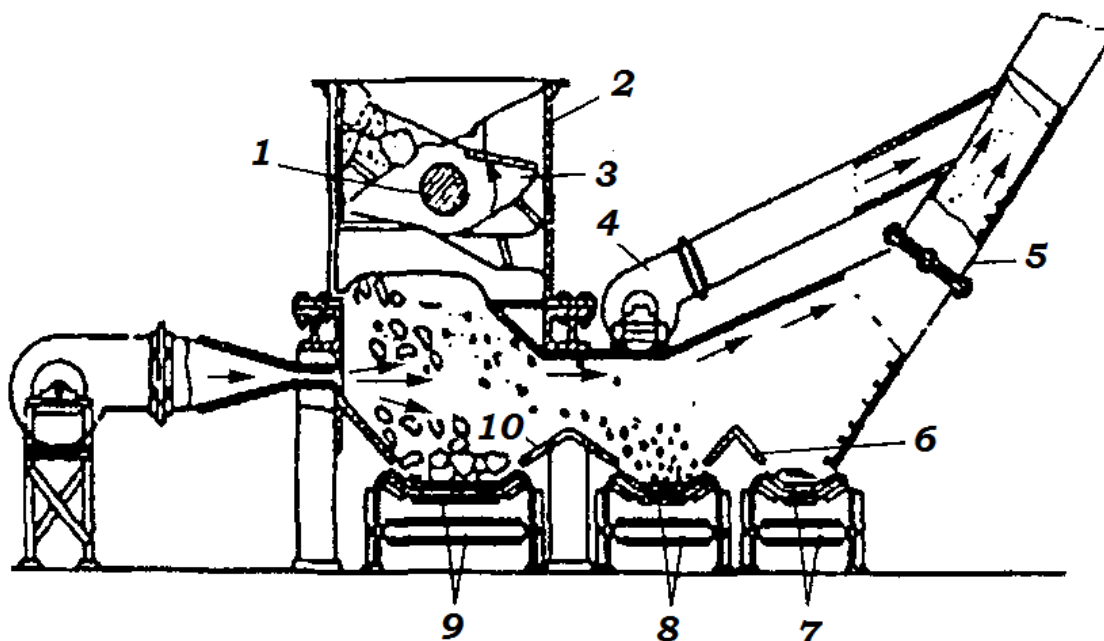


Рис. 63 – Аэросепаратор (США) для сортировки ТБО в горизонтальном потоке воздуха:

1 – вал; 2 – приёмная воронка; 3 – измельчитель; 4 – вентилятор; 5 – труба; 6 и 10 – направляющие вставки; 7 и 9 – конвейеры

Наиболее тяжёлые материалы (металлические банки, резина, камни и другое) поступают на конвейер 9, более легкие (мокрое дерево, неметаллические предметы) – на конвейер 8, предметы из алюминия и подобных материалов – на конвейер 7. Макулатура, текстиль и прочее подхватываются потоком воздуха и выносятся в трубу 5, куда дополнительно вентилятором 4 подается воздух, направляемый затем в топку. Для предотвращения смешивания отходов между конвейерами устанавливаются разделительные направляющие вставки 6 и 10.

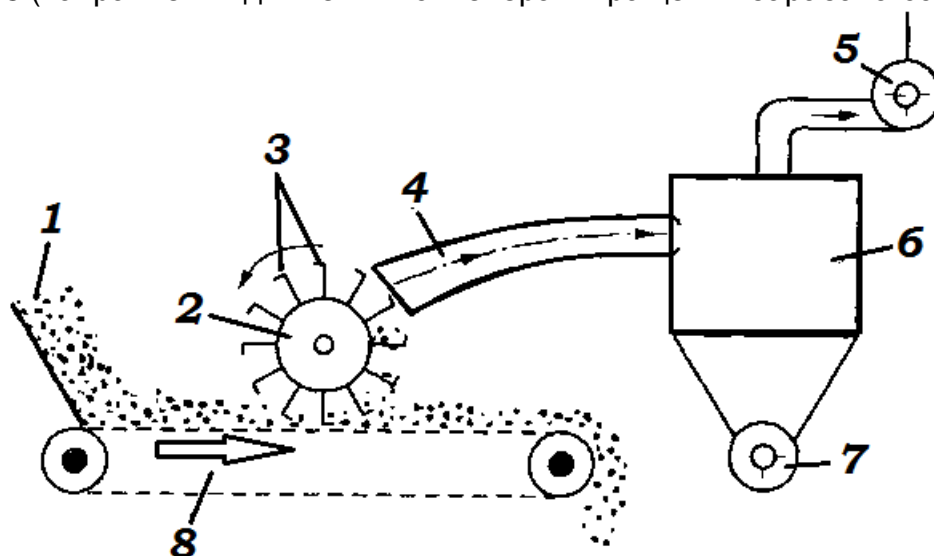
### Специальные методы сепарации

Специальные методы сепарации применяются для выделения из ТБО компонентов, затрудняющих реализацию тех или иных технологических операций обогащения отходов. В частности, в присутствии текстильных и крупных плёночных компонентов существенно усложняется операция грохочения исходных ТБО, применяемая для удаления из потока отходов крупнокусковых компонентов. Несмотря на то, что при этом грохочение проводится по достаточно крупному классу (как правило, 250 или 300 мм), отверстия барабанных грохотов, как показала российская практика, забиваются текстильными и плёночными компонентами, и аппараты перестают функционировать как сортирующие устройства. Эти же компоненты затрудняют работу аэросепараторов. Кроме того, текстильные компоненты негативно сказываются на технологическом процессе дальнейшей переработки ТБО, например при ферментации в биобарабанах (образование пробок из текстиля, хотя диаметр барабана составляет четыре метра).

В связи с этим крайне актуальна технологическая задача своевременного выделения из потока ТБО компонентов, затрудняющих их сепарацию и дальнейшую переработку.

Аппараты с захватывающими элементами (крючья, штыри, штифты) наиболее перспективны среди различных типов сепараторов-текстилеотделителей. Установка компании «Сорайн Чеккини» (Италия (рис. 64) предназначена для выде-

ления из ТБО текстильных компонентов. Её работа основана на прочёсывании движущихся по конвейеру **8** отходов **1** с помощью вращающегося барабана **2** с крючьями **3** (направления движения конвейера и вращения барабана совпадают).



*Рис. 64 – Схема установки для выделения из ТБО текстильных и плёночных компонентов, использующей вращающийся барабан с крючьями:*

**1** – отходы, **2** – барабан, **3** – крючья барабана, **4** – труба, **5** – вентилятор, **6** – циклон, **7** – питатель, **8** – конвейер

Загнутые крючья вращающегося барабана погружаются в транспортируемые конвейером ТБО, захватывают текстильные и плёночные компоненты, поднимают их к отверстию всасывающей трубы **4**, по которой отходы транспортируются в циклон **6** (разрежение создаётся с помощью вентилятора) с разгрузочным питателем **7**. Отработанный воздух дополнительно фильтруется.

### **Анализ технологических схем сепарации**

Обогащение ТБО имеет свою специфику в выборе как процессов, так и аппаратов. Даже процессы, идентичные для других объектов обогащения, применительно к ТБО характеризуются своим режимом, имеют отличительные детали и особенности. В то же время некоторые устройства и технологические приемы, используемые при обогащении ТБО, могут быть применены при обогащении ископаемого природного материала.

Число обогатительных операций, их вид и последовательность в технологической схеме зависят от морфологического и гранулометрического состава ТБО, их влажности, определяются задачами сортировки в каждом конкретном случае и закономерностями обогащения сырьевых материалов.

Сравнение и выбор технологических схем сортировки ТБО по критериальной оценке затруднены, так как не все схемы имеют одинаковое целевое назначение и не в равной степени учитывают закономерности обогащения сырьевых материалов.

В зарубежной практике сортировка ТБО наиболее часто начинается с операции грохочения; отдельные классы крупности этой операции обогащаются отдельно тем или иным методом, что в итоге дает определённый технологический эффект (повышение извлечения, чистоты разделения). Но, отечественный опыт показывает, что установка барабанного грохота в начале процесса нецелесообразна, так как его отверстия забиваются текстильными и влажными компонентами (практика Московского спецзавода № 1, промышленные испытания грохота в усло-

виях Минского мусороперерабатывающего завода), что отмечается и при грохочении исходных ТБО по классу 70–100 мм на заводах Франции и Швейцарии.

Ниже рассмотрены и проанализированы технологические схемы сепарации ТБО, разработанные ведущими зарубежными компаниями и нашедшие практическое применение на заводах в различных странах.

**Технологическая схема сортировки ТБО компании «Orfa» (Швейцария)** приведена на рис. 65. Технология сортировки по этой схеме отработана в Швейцарии на экспериментальном заводе производительностью четыре т/ч и продана в четыре страны – Японию (где уже построен опытный завод), Испанию, Чехию и Польшу. Технология была предложена Правительству Москвы для решения проблемы переработки ТБО. Примерная стоимость оборудования для сортировки 35 млн долл. (производительность 250 тыс. т/год).

В данной технологии переработка ТБО осуществляется только методами сепарации, без использования каких-либо иных методов. Создание эффективной отечественной технологии сортировки сложных по составу российских ТБО предполагает учёт следующих положений:

1. Без разделения потока ТБО на лёгкую и тяжёлую фракции извлечение из ТБО цветных металлов затруднено: цветной металлолом «запутывается» в лёгких компонентах ТБО и его трудно выделить в самостоятельный продукт; по этой же причине невозможно обеспечить высокую степень извлечения чёрного металлолома;

2. Наиболее крупные компоненты чёрного металлолома, а также текстильные компоненты должны быть извлечены в начале процесса, что позволит наилучшим образом реализовать аэросепарацию для разделения ТБО на две фракции (уменьшение потока материала, ударной нагрузки на аппараты, предотвращение забивания и прочее);

3. Состав ТБО после выделения крупного металлолома текстильных и полимерных материалов близок к ТБО европейских стран, в связи с чем принципиально возможно применение операции грохочения в барабанном грохоте;

4. Необходимо ввести операцию доизвлечения чёрных металлов после удаления из ТБО лёгкой фракции, поскольку их наличие в потоке затрудняет применение электродинамической сепарации;

5. Следует ввести перечистную сепарацию коллективного магнитного концентрата для обеспечения соответствия содержания металла в готовом продукте действующим стандартам;

6. Должны быть удалены отработанные электробатарейки из обогащённых фракций, направляемых на обработку;

7. Фракция ТБО, идущая на термообработку, должна быть обогащена горючими компонентами при максимально возможном удалении вредных и балластных компонентов; желательно также обеспечить подсушку легкой фракции;

8. Должна быть обеспечена по возможности монослойная подача материала в процесс сортировки.

**Технологическая схема сортировки ТБО, разработанная в ВИБРе (позднее ВНИИресурсосбережения, ныне НИЦПУРО)**, основные операции которой отработаны на потоке ТБО при производительности 15 т/ч, приведена на рис. 66. Определённая последовательность операций, применение оригинальных аппаратов и технологических режимов, не имеющих аналогов за рубежом, использование прогрессивных элементов зарубежных разработок обеспечивают высокую эффективность и надёжность этой российской технологии.

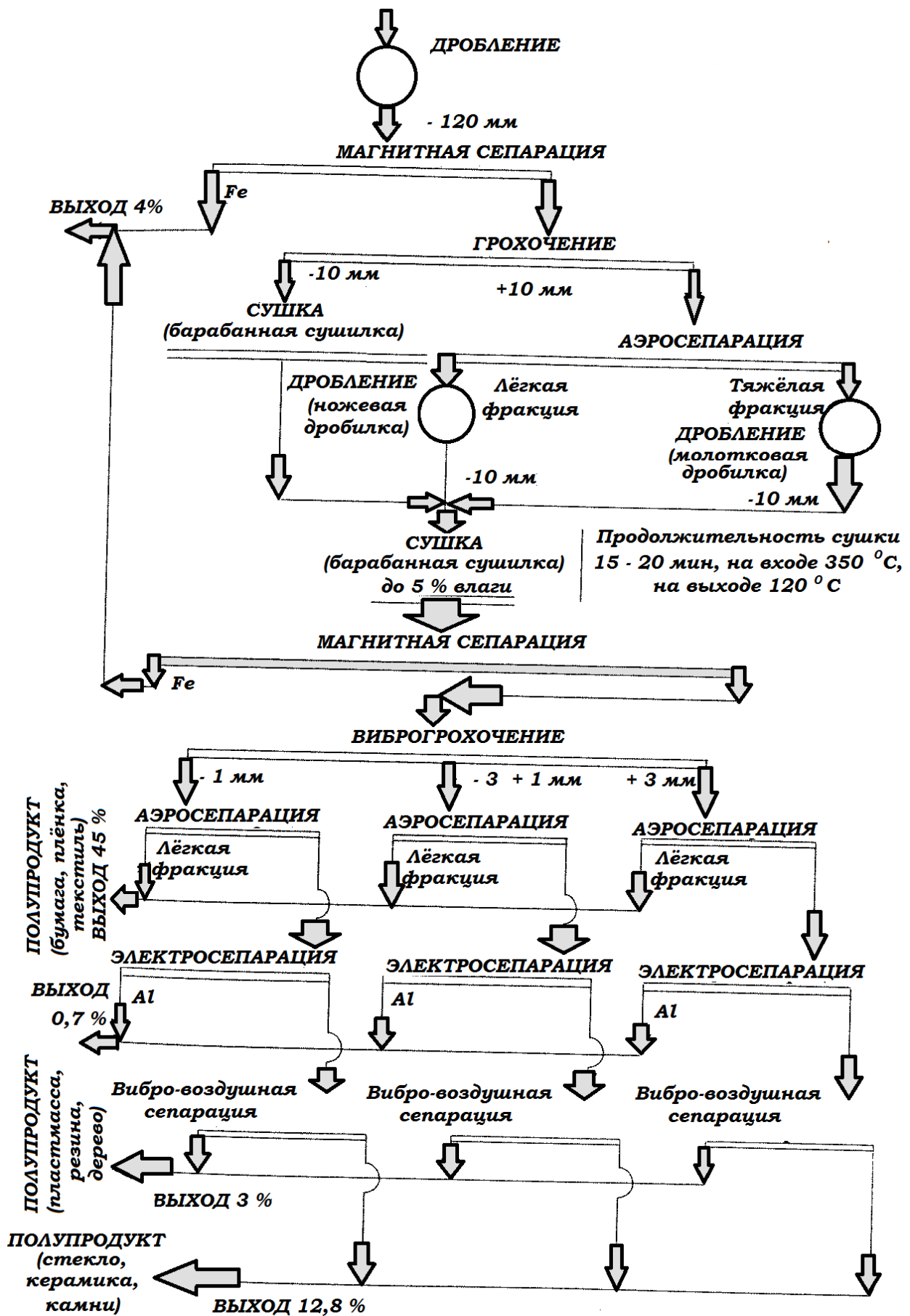


Рис. 65 – Технологическая схема сортировки ТБО компании «Orfa» (Швейцария)

В данной схеме, в отличие от зарубежных, традиционному грохочению предшествуют две операции – магнитная сепарация и удаление из потока текстильных и крупных плёночных компонентов, осуществляемые в аппарате оригинальной конструкции (в этом аппарате происходит также рыхление материала) и оптимизирующие последующее грохочение по классу 250 мм. Второе отличие отечественной технологии – регулирование основного потока ТБО (выход 65 – 70% исходного) с помощью воздушной сепарации, что позволяет оптимизировать последующие операции сортировки, улучшить санитарно-гигиенические условия работы (дезодорация и обеспыливание) и подсушить компоненты легкой фракции.

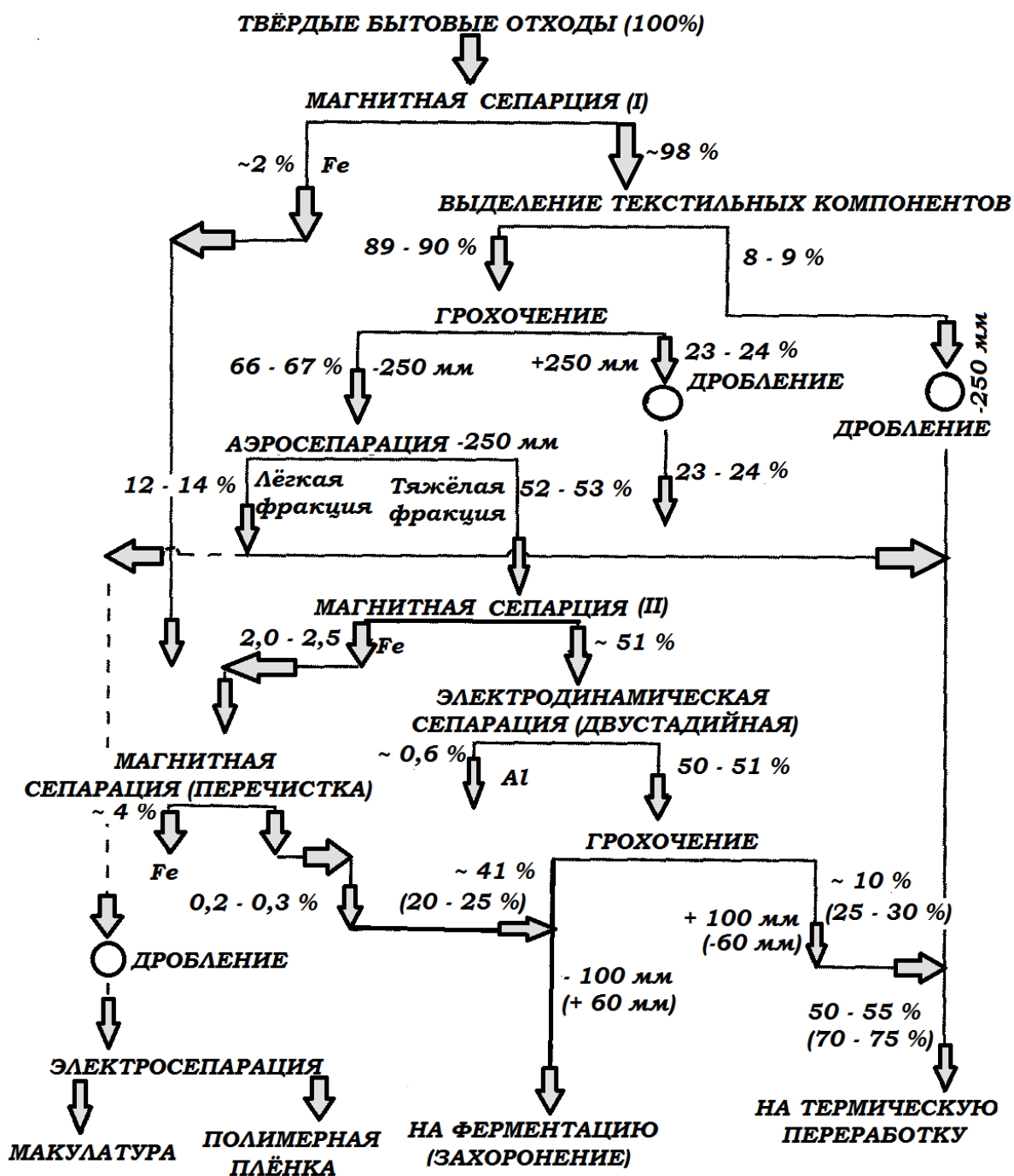


Рис. 66 – Технологическая схема сортировки ТБО (разработана в ВИБРе)

Включение в технологическую схему операций дробления крупных фракций ТБО обусловлено требованиями последующих переделов переработки. Так, дроб-

ление обязательно при использовании сжигания в кипящем слое или технологии газификации, тогда как при слоевом сжигании дробление отходов не требуется. Выбор режимов, обеспечивающих селективность обогащения и полноту извлечения, базируется на достижении максимальной эффективности сепарации в каждой обогатительной операции как составной части единой технологии.

Ниже сформулированы принципы построения технологической схемы сепарации ТБО и объединения отдельных операций в единую технологию:

- выделение в начале процесса компонентов, затрудняющих последующую сепарацию (крупнокусковые и волокнистые компоненты, лом чёрных металлов);
- минимизация количества отходов для дробления;
- раздельная сепарация лёгкой и тяжёлой фракций;
- возможность регулирования массового потока отходов (регулирование выхода лёгкой и тяжёлой фракций с помощью аэросепарации);
- направление на аэросепарацию и электродинамическую сепарацию фракции ТБО крупностью – 250 мм;
- наиболее полное выделение чёрных металлов перед электродинамической сепарацией;
- максимально возможное удаление балластных и экологически опасных компонентов из фракции ТБО, направляемой на термообработку (при максимальном обогащении этой фракции горючими компонентами).

Наиболее полное и селективное разделение ТБО на компоненты достигается при монослойной подаче их к сортирующим аппаратам и устройствам, когда отдельные компоненты не перекрывают друг друга и находятся в разъединённом состоянии. Монослойная подача отходов в процесс сепарации обеспечивается их разделением на лёгкую и тяжёлую фракции и ступенчатым увеличением скорости потока ТБО перед каждой последующей операцией обогащения по ходу технологического процесса.

Таким образом, можно выделить три принципиально разных подхода к построению технологической схемы сортировки ТБО:

1. Построение технологической схемы по типу рудного обогащения: доведение материала до крупности – 10 мм, его сушка (до пяти процентов влаги) и последующая раздельная сепарация узких классов крупности (1 мм, –3+1 мм, +3 мм) с применением магнитной сепарации, аэросепарации, электросепарации и вибровоздушной сепарации; в итоге сортировки получают два готовых продукта (чёрные и цветные металлы – выход 4 %) и три полупродукта (бумага, плёнка, текстиль – выход 45 %; пластмасса, резина, дерево – выход 3 %; стекло, керамика, камни – выход 13 %);

2. Прохождение исходных ТБО по классам 150–250 мм (реже по классам 100 и 400 мм) с раздельным обогащением разных классов крупности методами магнитной сепарации, грохочения, аэросепарации, электродинамической сепарации (при необходимости включают операции дробления и ручной сортировки крупных фракций отходов); полезная продукция – чёрные и цветные металлы, полупродукты – горючая и биоразлагаемая фракции;

3. Подготовка ТБО к операции грохочения (выделение чёрных металлов, крупных волокнистых и пленочных компонентов), грохочение по классу 250 мм с последовательным обогащением нижнего класса методами аэросепарации (регулирует основной поток ТБО; выход 65–70 % исходного), магнитной и электродинамической сепарации, грохочения по классу 60–100 мм (при необходимости включаются операции дробления фракции +250 мм и электросепарации лёгкой фракции бытовых отходов – разделение макулатуры и полимерной пленки); полезная продукция – чёрные и цветные металлы (возможно получение макулатуры и полимерной плёнки), полупродукты – горючая и биоразлагаемая фракции.



## Основы управления твёрдыми бытовыми отходами

**Управление ТБО** – это технологический процесс, включающий системно связанные между собой операции их сбора, удаления (транспортирования), сортировки, переработки, утилизации и захоронения.

Основная задача создания прогрессивной модели управления отходами – снижение количества захораниваемых отходов за счёт их вовлечения в сортировку, переработку и утилизацию с наименьшими затратами и экологическим риском практических действий.

В соответствии с мировым опытом основу управления отходами составляют два базовых принципа: **1)** проблему отходов решает субъект, причастный к образованию отходов; **2)** загрязнитель платит.

Необходимое условие реализации этих принципов в жизнь – активное и широкомасштабное участие государства в управлении отходами (опыт стран ЕС, Швейцарии, Японии и других), в противном случае проблема отходов не решается (опыт стран СНГ). Комплексно решать проблему отходов как взаимосвязанную эколого-экономическую и технологическую проблему позволяет именно научно обоснованная государственная политика, регламентирующая приоритет переработки и утилизации отходов над их захоронением на основе реализации иерархической последовательности обращения с отходами:

1. Своевременное выделение из ТБО ресурсов, пригодных для вторичного использования;
2. Вовлечение вторичных ресурсов в хозяйственный оборот;
3. Переработка остаточных после выделения вторсырья отходов с утилизацией их энергетического потенциала – с наименьшими затратами и экологическим риском;
4. Захоронение остаточных отходов.

В итоге существенно сокращается количество захораниваемых отходов (рис. 67). В соответствии с тенденциями развития мировой практики для комплексного использования ТБО и сокращения количества захораниваемых отходов необходимо создать развитую индустрию вторсырья на базе организации селективного сбора ценных компонентов ТБО, создать и развивать систему специализированных производств по сортировке, термической и биотермической переработке отходов, по переработке вторсырья.

Отличительная особенность – на всех стадиях обращения с ТБО используется сепарация, изменяющая качественный и количественный состав отходов и оптимизирующая сопряженные производства. Эффективность управления любой системой существенно повышается при регулировании входящих в систему потоков, формируемых с помощью сортировки.

Достижение высоких результатов обеспечивает стратегия управления ТБО по критериям ресурсосбережения и экологической безопасности.

Согласно критерию ресурсосбережения, требуется получить такое содержание ценных компонентов в исходном сырье на стадии сбора отходов, которое обеспечит максимальный выход полезной продукции на стадии сортировки. Практически эта задача решается на основе создания системы селективного сбора ТБО – раздельного сбора тех или иных компонентов или фракций отходов с целью их последующей обработки оптимальным методом. В ведущих странах ЕС система селективного сбора ценных компонентов ТБО обеспечивает выход вторсырья 45–60 % общего количества образующихся ТБО. Достигнутый уровень мировой практики показывает, что главный эффект в решении проблемы ТБО связан с их вовлечением во вторичное материальное использование.

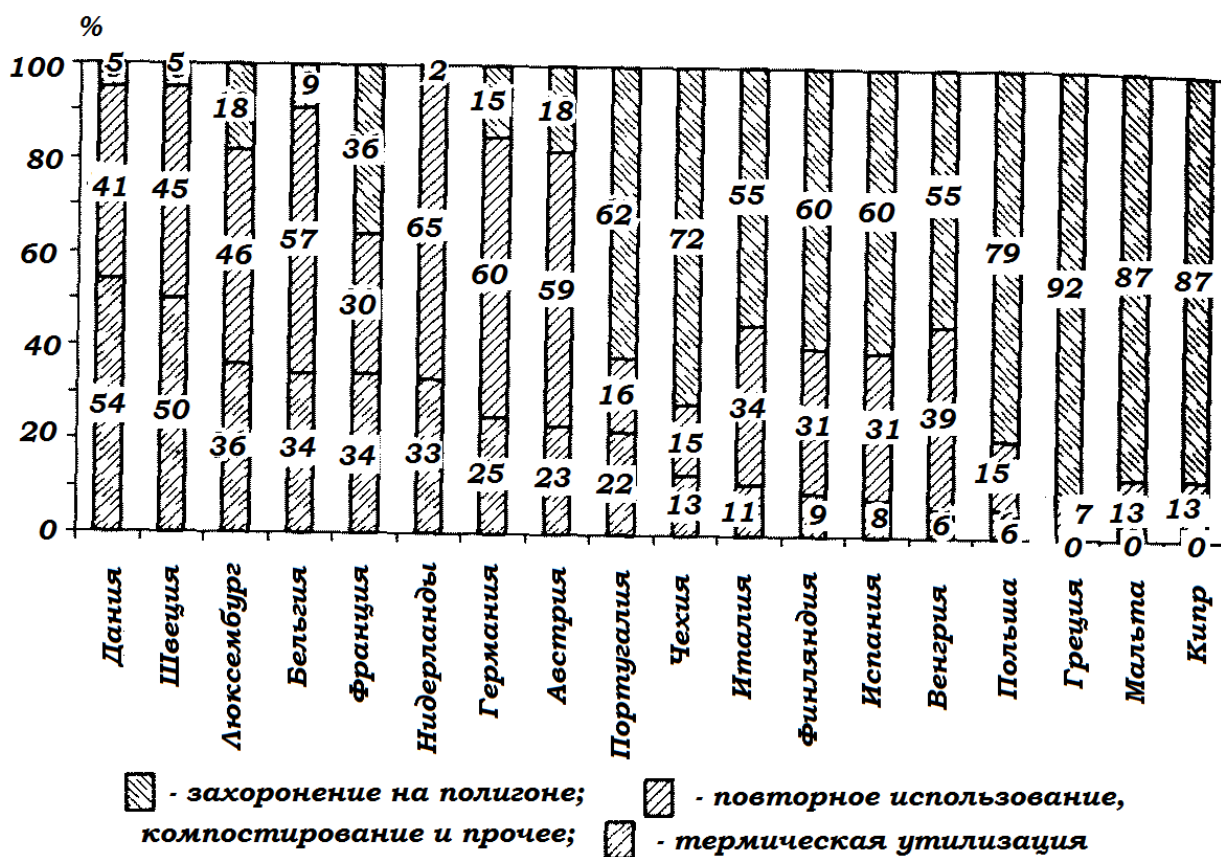


Рис. 67 – Характеристика состояния системы санитарной очистки городов в странах Евросоюза (решение проблемы ТБО, данные Eurostat-2005)

Выделение из ТБО ценных компонентов для повторного использования осуществляется в местах их образования – до складирования на полигоне или обезвреживания на спецобъекте. Продукты раздельного сбора, в которых сосредоточено большое количество незагрязненных, легко извлекаемых ценных компонентов, подвергаются «доводке» на специальных сортировочных комплексах преимущественно методами ручной сортировки на ленте тихоходного конвейера, установленного в кабине с условиями труда повышенной комфортности (пылеподавление, кондиционирование воздуха, хорошее освещение, автономное энергообеспечение). На сортировочном комплексе осуществляется также подготовка вторсырья к дальнейшей переработке (пакетирование, брикетирование, складирование, централизованный сбыт).

В странах ЕС в качестве вторсырья традиционно используют макулатуру, пластмассы, стекло, металлы; постоянно расширяется перечень продукции, вышедшей из употребления и подлежащей повторному использованию и переработке в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР) (электрические и электронные приборы, тара и упаковка, аккумуляторы и шины и другое). Здесь речь идёт о санкционированных программах сортировки отходов. Деятельность старьевщиков – это несанкционированное извлечение из ТБО ценных компонентов с целью их последующей продажи или использования (на стадии сбора отходов или их захоронения).

Согласно критерию экологической безопасности, селективному сбору подлежат не только ценные, но и опасные компоненты бытовых отходов (отработанные батарейки, термометры, манометры, ртутные лампы, остатки красителей и прочее). Выход специфических опасных компонентов ТБО составляет около одного процента общего количества муниципальных отходов.

В итоге в европейском городе образуется несколько потоков отходов – вторсырья, специфических опасных компонентов и остаточных отходов. У каждого потока свой путь, свой метод обработки. Показателен баланс потоков отходов в Германии (в %): повторное использование – 60, сжигание – 25, захоронение – 15.

В российских городах управление ТБО сводится к организации контейнерного сбора отходов и их своевременного удаления из мест образования. Проблема минимизации количества отходов, направляемых на объекты их обработки и захоронения, не решается (в частности, из схемы управления выпала операция сортировки ТБО и выделения ресурсов, пригодных для дальнейшего использования, что не удовлетворяет требованиям ресурсосбережения и санитарной очистки города с наименьшими затратами). В городе образуется один поток ТБО (все отходы собирают «в одну кучу»). При этом не делается различия, куда этот поток направлять – на захоронение, сортировку или сжигание. Не учитывается и гетерогенный состав ТБО, представляющих собой смесь различных по свойствам, крупности и степени опасности компонентов. Если весь поток ТБО подвергается захоронению, происходит потеря вторсырья (упускается прибыль от возможной реализации ценных компонентов), сокращается срок службы объекта захоронения, ухудшается экологическая ситуация, увеличиваются расходы на транспортирование ТБО. Если весь поток ТБО подвергается сжиганию, также происходит потеря вторсырья, искусственно увеличивается (практически вдвое) производительность завода, возрастают капитальные затраты и экологическая опасность.

Если ручной сортировке подвергается вся образующаяся неподготовленная масса ТБО, выход вторсырья составляет всего 5 – 8 % (редко 10–15 %), что не покрывает (или едва покрывает) эксплуатационные затраты; кроме того, ручная сортировка всей образующейся массы ТБО экологически ущербна (антисанитария, вторсырье загрязнено). В мировой практике «грязный» мусор не подвергают ручной сортировке, вручную сортируют только вторсырье. Эффективность сепарации, характеризуемая извлечением на сортировочной установке ценных компонентов и себестоимостью получаемой продукции, существенно зависит от качества исходного техногенного сырья (в частности, от содержания в нём полезных компонентов и загрязняющих примесей).

В мировой практике решение проблемы отходов в жилищно-коммунальном секторе (с учётом современных требований ресурсо- и энергосбережения) рассматривается как один из приоритетных видов сервисной деятельности. Технологический процесс оказания населению услуг в сфере санитарной очистки города от ТБО по сути, служит одной из систем его жизнеобеспечения. Не случайно в странах ЕС широко практикуется экономическое стимулирование деятельности в сфере обращения с отходами (льготное кредитование, налоговые льготы и прочее). Двухэтапный подход – необходимое условие обеспечения минимизации затрат на решение проблемы ТБО.

**Первый этап** – базовая основа решения проблемы ТБО с учётом современных требований экологии, экономики, ресурсо- и энергосбережения – создание системы отдельного сбора как элемента управления ТБО.

В странах ЕС в местах образования отходов есть отдельный покомпонентный сбор вторсырья, когда незагрязненная макулатура, упаковочная тара, стекло, пластмассы, металлы собираются отдельно. При создании отечественной системы отдельного сбора следует учитывать недостатки зарубежной практики: громоздкость транспортной системы доставки вторсырья на сортировочные комплексы (отдельное транспортирование каждого вида вторсырья), неудобство для населения (на кухне нужно иметь пять – шесть ёмкостей для покомпонентного сбора вторсырья), относительная сложность покомпонентного сбора (трудно сориентироваться, в какой из пяти-шести пакетов помещать данный компонент).

Механический перенос в российскую практику управления ТБО мировых достижений без их адаптации к конкретным условиям и оптимизации недопустим.

За основу следует брать (рис. 68) не тактику отдельного сбора, а принципы управления ТБО по критерию ресурсосбережения:

1. Учёт количества отходов и их ресурсного потенциала во взаимосвязи с экономикой и экологией;

2. Реализация всех элементов управляемой системы (сбор, транспортирование, сортировка, переработка, утилизация, захоронение) с учётом содержания в отходах полезных для повторного использования сырьевых компонентов и вредных для окружающей среды веществ;

3. Централизованное управление потоками отходов и вторсырья (на уровне муниципальных образований);

4. Повышение эффективности экономической политики в части создания технологических объектов для рациональной сортировки и переработки ТБО;

5. Повышение ответственности муниципальных образований и населения за качество среды обитания (сокращение потоков отходов на захоронение, дифференцированная плата за рассортированные и остаточные отходы, обоснованное формирование тарифа).

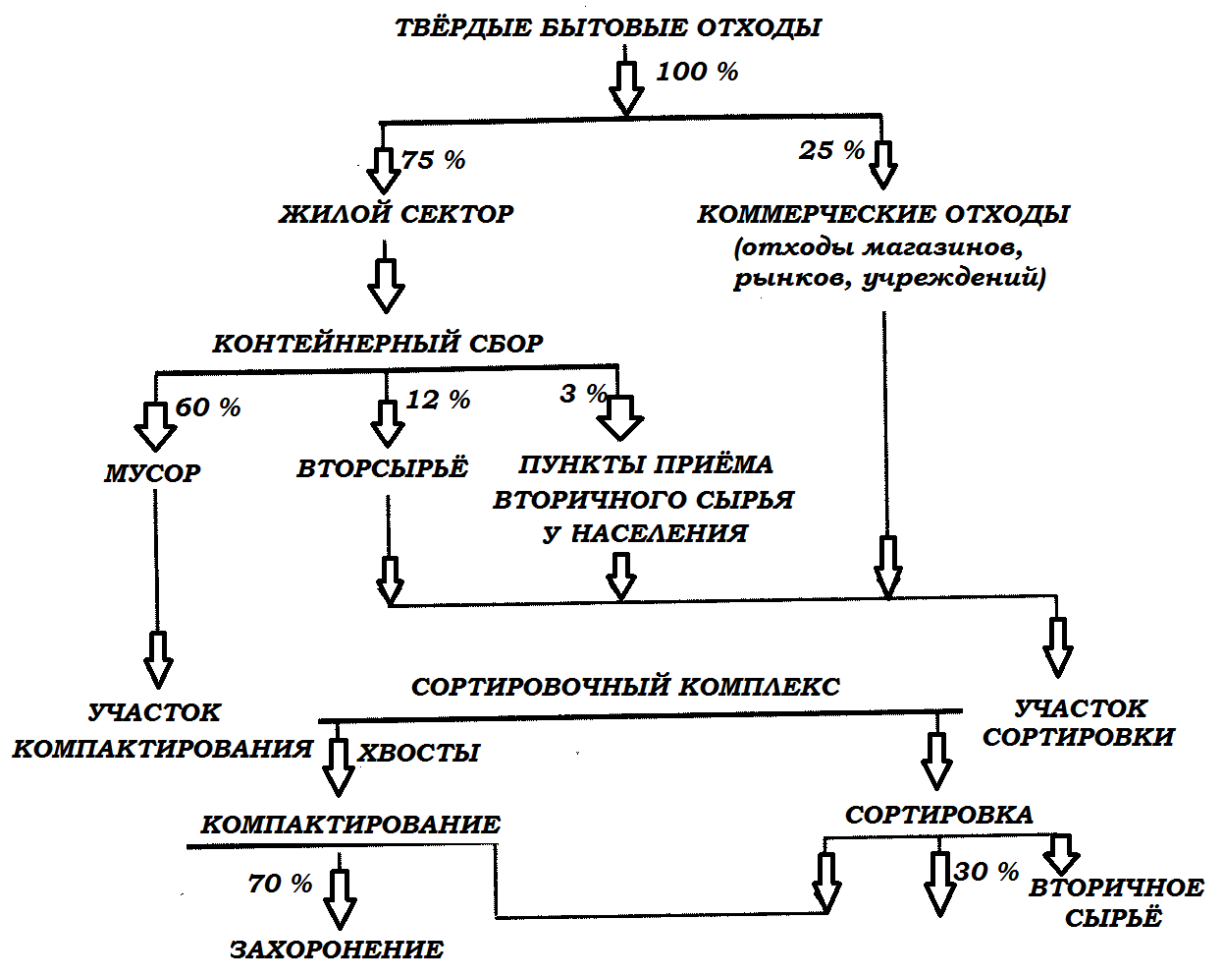


Рис. 68 – Оптимальная схема управления ТБО на этапе ресурсосбережения

В российских условиях предпочтителен пофракционный сбор вторсырья у населения и в нежилом секторе. Участие населения сводится к разделению ТБО на кухне на два пакета – для вторсырья («чистый мусор») и для остаточных отходов («грязный мусор»). В пакет «для вторсырья» собираются незагрязненные макулатура, стекло, ПЭТФ-бутылки, полиэтиленовая плёнка, алюминиевые банки и

прочее. Пакет с вторсырьем отправляется в контейнер «для вторсырья», остаточные отходы («грязный мусор») – в мусоропровод. Принцип «делим на два» значительно упрощает всю систему обращения с отходами, сбор вторсырья у населения и транспортирование отходов.

Для приёма, сортировки по видам и подготовки к дальнейшей переработке «коллективно» собранного вторсырья необходимы современные комплексы по сортировке и компактированию ТБО. Без создания таких комплексов масштабное выделение из ТБО ресурсов, пригодных для вторичного использования, осуществить нельзя. Нужно также иметь в виду, что переработчики не принимают в рассыпном виде макулатуру, пластмассу, металлы и другие материалы, требуется их пакетирование и брикетирование. Эти операции должны проводиться комплексно.

На сортировочный комплекс также должны направляться отходы нежилого сектора города (жилой и нежилой секторы города обслуживаются разными мусоровозами). Вторсырье, выделенное в комплексе, доставляется на переработку потребителем:

- макулатура – в рубероидное производство, в производство картона, эковаты и бугорчатой тары;
- чёрные и цветные металлы – в переплавку;
- стекло – в производство строительных материалов, стеклоизделий;
- пластмассы – в получение регранулята, в производство изделий типа черепицы, в производство волокна и другое.

В ряде случаев в составе сортировочных комплексов возможно создание производственных участков по переработке вторсырья, но это может искусственно сузить сферу сбыта продукции (если появится спрос на другие виды продукции).

Реализация масштабной программы ресурсосбережения при решении проблемы ТБО – важнейший резерв повышения экономической эффективности системы санитарной очистки как подотрасли ЖКХ в муниципальных образованиях и городах России. Целевая задача программы – снижение количества захораниваемых ТБО на 40–50 % при одновременном создании прибыльной индустрии вторсырья и снижении транспортных расходов на удаление ТБО. Социальный аспект программы – повышение качества среды обитания, предоставление новых рабочих мест.

**Второй этап** – вовлечение в комплексную переработку остаточных отходов (выход 50–60 %) с применением прогрессивных технологий, в том числе термических (с энергетической утилизацией сырья). Целевая задача этого этапа – сокращение массы захораниваемых отходов до 10–20 % исходного и выход на европейский уровень.

Для этого необходимо:

- механизировать сортировку отходов с выделением ценных компонентов (в основном металлов и, возможно, пищевой фракции) и горючей фракции для использования в качестве ВЭР;
- реализовать термическую переработку горючей фракции с использованием процесса газификации (особенно для городов с населением до 500 тыс. жителей) или слоевого сжигания на переталкивающих решётках.

На этом этапе прибыль от реализации полезной продукции, главным образом энергии, не покрывает эксплуатационные расходы и экономические издержки компенсируются высокой платой за приём ТБО (на московских мусоросжигающих заводах – около 2 тыс. руб./т сжигаемых отходов, на европейских – до 200 долл./т). Мировая практика и тенденции развития убедительно доказывают, что необходимо создать систему обращения с отходами, то есть использовать комбинационные технологические решения, рассматривая ТБО как техногенное сырьё сложного органоминерального состава.

Термическая переработка ТБО, как и их отдельный сбор и сортировка, – со-

ставные части решения проблемы коммунальных отходов.

Согласно одному из основополагающих принципов, вытекающих из тенденций развития мировой практики и здравого смысла, внедрение дорогостоящих термических технологий целесообразно лишь при достижении системой санитарной очистки города такой ступени развития, когда выделение вторичных ресурсов и специфических опасных компонентов достигнет максимума. Как показывает анализ, термическая переработка ТБО развита в странах, отличающихся высоким уровнем селективного сбора вторсырья.

Экономичный и экологичный вариант раздельного сбора вторсырья у населения и реализации программы ресурсосбережения разработан в России (реализация ряда последовательно-параллельных действий):

1. Организация разъяснительной работы среди населения – повышение ответственности за качество среды обитания, развитие понимания важности и необходимости раздельного сбора ТБО, формирование экологического сознания у людей и общественного мнения в этой сфере, разъяснение правил сортировки;

2. Организация активного участия населения в раздельном сборе ТБО по принципу «делим на два» – на вторсырье и остаточные отходы (собранные вторсырье выносятся в спецконтейнер, то есть требуется только один контейнера);

3. Установка в удобных местах необходимого числа спецконтейнеров для собранных фракций вторсырья;

4. Создание современных комплексов по сортировке и компактированию ТБО (для приёма собранного у населения вторсырья и отходов нежилого сектора, их сортировки по видам и подготовки к дальнейшей переработке); комплексы становятся центрами, объединяющими всю систему раздельного сбора;

5. Организация централизованного управления потоками отходов и вторсырья (с последующим направлением каждого потока на переработку оптимальным методом); при этом жилой и нежилой секторы обслуживаются разными мусоровозами (раздельный сбор);

6. Создание пунктов для платного вторсырья (мобильных и стационарных);

7. Создание технопарка для переработки вторсырья.

Переработка – это конечная технологическая операция в общей схеме управления отходами, и её результаты во многом зависят от эффективности каждой предшествующей операции – сбора, транспортирования, сортировки, подготовки отходов к переработке. На стадии сбора и удаления ТБО определяются эффективность и безопасность их дальнейшей переработки и захоронения.

При решении вопросов оптимизации системы управления коммунальными отходами на стадии их сбора и удаления в качестве критерия оптимальности следует принимать степень утилизации ТБО (количество отходов, выделенных для вторичного использования на основе их раздельного сбора в жилом и нежилом секторах города и сортировки отходов, обогащенных полезными компонентами) и затраты на сбор и транспортирование ТБО (экономические критерии).

Постепенный переход от полигонного захоронения к комплексной переработке служит 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.

### **Утилизация отходов пластмасс**

Рост добычи природного газа и нефти, а также большой спрос на них в сферах промышленности и бытовых услуг привели к резкому повышению производства изделий из пластмасс и, соответственно, к увеличению отходов.

**Пластмассы** – это материалы на основе природных или синтетических полимеров, способные под влиянием нагревания и давления формироваться в изделия сложной конфигурации и затем устойчиво сохранять приданную форму.

В зависимости от технологического процесса производства, применяемого наполнителя и связующего (смолы) различают пластмассы композиционные, слоистые и литые, а по природе применяемой смолы -- термореактивные и термопластичные. Последнее имеет большое значение для утилизации пластмассовых отходов.

Пластмассы ещё относительно мало используются как вторичное сырьё. Это объясняется, прежде всего, многообразием типов пластмасс и выпускаемых из них изделий, а также сложностью состава, что затрудняет сортировку и переработку пластмассовых отходов, особенно бытовых. Между тем выпуск всевозможных изделий из пластмасс постоянно увеличивается.

Схема специализированной печи для сжигания плавящихся отходов приведена на рис. 69. Твёрдые отходы в виде кусков подают на решётку. Часть высокотемпературных продуктов полного сгорания, полученных при барботажном сжигании в ванне, направляют над слоем отходов, а другую часть – под слой.

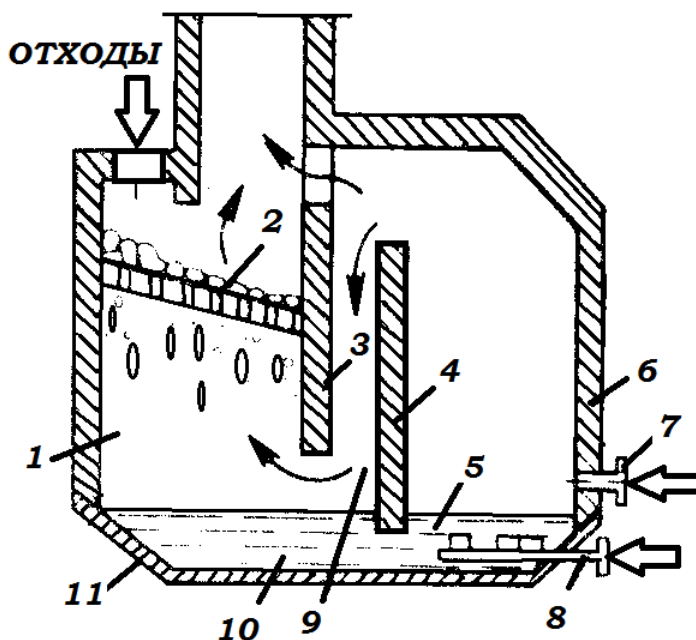


Рис. 69 – Схема специализированной печи для сжигания плавящихся отходов:

- 1 – камера плавления; 2 – решётка; 3 – стенка камеры плавления;
- 4 – стенка камеры сгорания; 5 – барботажная ванна; 6 – камера сгорания;
- 7 – подача вторичного воздуха; 8 – труба для подачи первичного воздуха;
- 9 – вертикальный канал; 10 – расплав; 11 – ванна расплава

Вследствие незначительного содержания кислорода в этих продуктах отходы в слое не горят, а лишь плавятся. Расплавленные отходы в виде капель и струй попадают навстречу потоку высокотемпературных продуктов полного сгорания, подаваемых под слой, и перегреваются. Расплавленные отходы собираются под слоем и поступают на барботажное сжигание. Находящиеся под слоем и на барботажном сжигании расплавленные и перегретые отходы образуют общий уровень расплава. При барботажном сжигании через расплав отходов из патрубка подают первичный окислитель. Происходит горение расплавленных отходов над слоем в потоке вторичного воздуха с образованием высокотемпературных продуктов полного сгорания, которые разделяются на два потока и направляются – один над

слоем твёрдых отходов, другой – под слой, пропуская этот поток над поверхностью расплава.

Соотношение потоков продуктов полного сгорания регулируется уровнем расплава. При увеличении количества расплавленных отходов под слоем уровень расплава поднимается, и площадь сечения для прохода продуктов полного сгорания уменьшается. В результате уменьшается количество теплоты, передаваемой на плавление отходов, и количество расплава; уровень его под слоем понижается и соответственно изменяется соотношение потоков высокотемпературных продуктов полного сгорания.

### **Пиролиз и газификация отходов**

Пиролиз представляет собой процесс разложения органических соединений под действием высоких температур при отсутствии или недостатке кислорода. Характеризуется протеканием реакций взаимодействия и уплотнения остаточных фрагментов, исходных молекул, в результате чего происходит расщепление органической массы, рекомбинация продуктов расщепления с получением термодинамически стабильных веществ: твёрдого остатка, смолы, газа. Применяя термин «пиролиз» к термическому преобразованию органического материала, подразумевается не только его распад, но и синтез новых продуктов.

С санитарной точки зрения процесс пиролиза обладает лучшими показателями по сравнению со сжиганием. Количество отходящих газов, подвергаемых очистке, намного меньше, чем при сжигании отходов, объём твёрдого остатка, получаемого по схеме высокотемпературного пиролиза, может быть значительно уменьшен. Твёрдый остаток можно использовать или в промышленности (сажа, активированный уголь). Таким образом, некоторые схемы пиролиза отходов могут быть безотходными.

В настоящее время известно более 50 систем по пиролизу отходов, отличающихся друг от друга видом исходного сырья (отходов), температурой процесса и конструктивными решениями технологической схемы переработки сырья.

Высокотемпературный пиролиз по сравнению с другими методами имеет ряд преимуществ:

- при нём идёт более интенсивное преобразование исходного продукта;
- скорость реакций возрастает с экспоненциальным увеличением температуры, в то время как тепловые потери возрастают линейно;
- увеличивается время теплового воздействия на отходы;
- происходит более полный выход летучих продуктов;
- сокращается количество остатка после окончания процесса.

Примером низкотемпературного пиролиза может служить разработанный фирмой «Монсанто» (США) **метод термической обработки мусора Ландгард**, который осуществляется во вращающейся печи при недостаточном доступе кислорода, при этом часть горючих составляющих сгорает (рис. 70).

Доставленные на установку производительностью 35 т/сут отходы по двум виброжелобам направляются в дробилку, а затем в бункер, откуда их можно непрерывно подавать во вращающуюся печь. Эта печь изнутри футерована огнестойким материалом и установлена с небольшим наклоном, благодаря чему измельченные отходы в ней легко перемещаются, при этом часть горючих составляющих сгорает.

Отходы, подлежащие пиролизу, движутся противотоком по отношению к обогревающим газам. Процесс эндотермический, и для его осуществления подводится дополнительное топливо.



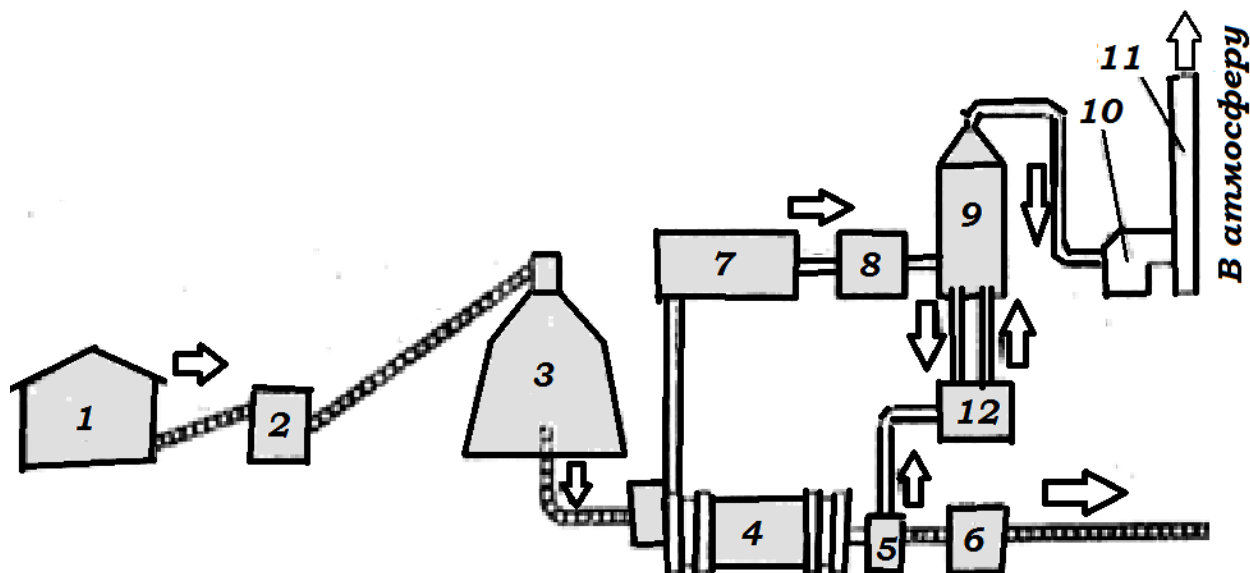


Рис. 70 – Технологическая схема Ландгард:

1 – приёмный бункер; 2 – дробилка грубого дробления; 3 – бункер для дроблёных отходов; 4 – вращающаяся печь (реактор); 5 – шлаковая ванна; 6 – магнитный сепаратор; 7 – камера сжигания газа; 8 – парогенератор; 9 – скруббер; 10 – дымосос; 11 – дымовая труба; 12 – очистка воды

Остаток от сгорания твёрдых отходов попадает в находящуюся в конце печи ванну для гашения, питаемую водой из установки для очистки отходящих газов. Затем шлак направляется на флотационную установку, после которой отделенные легкие компоненты в виде угольного шлама вытекают, сгущаются и фильтруются перед вывозом, тогда как тяжёлые составные части поступают на магнитный сепаратор. Освобожденный от железа остаток представляет собой стекло-содержащее темное вещество. Отходящие от печи газы полностью сгорают в камере с огнеупорной футеровкой, в которую подается воздух. Тепло используется для производства пара. Газ попадает в скруббер, а оттуда через дымовую трубу выбрасывается в атмосферу.

## УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ ЛЕСОЗАГОТОВКИ И ДЕРЕВООБРАБОТКИ

### Физические основы биоэнергетики

Биомасса образуется в результате жизнедеятельности растений, животных и других живых организмов. Биомасса – это материал биологического происхождения, за исключением материала в геологических породах, ставшего ископаемым. Если биомассу рассмотреть с позиции её использования как топлива, то применяется термин «биотопливо». Энергия, получаемая из биотоплива, называется биоэнергией.

Согласно шведскому стандарту SS18106 биотопливо разделяется на пять групп:

1. Древесное топливо – сырьё из леса без химической обработки.
2. Аграрное топливо – имеет сельскохозяйственное происхождение.
3. Биотопливо из отходов – производится из органического мусора.
4. Торфяное топливо – производится из торфа.
5. Щёлки – побочный продукт целлюлозно-бумажной продукции.

Биоэнергия определяется как энергия из биомассы или торфа.

Термин «биоэнергетика» может иметь и иное значение; а именно – как об-

ласть знаний о процессах преобразования энергии в живых организмах.

Энергия биомассы древесного происхождения используется для выработки тепловой и электрической энергии для производственного и коммунального потребления и других целей. Количество энергии, произведённой, потреблённой, переданной, независимо от её формы (теплота, электричество, свет, механическая энергия), измеряется в Международной системе единиц измерений (СИ) одной единицей, которая называется джоуль, сокращенное обозначение – Дж. Исторически сложились традиции использования и других единиц измерения количества энергии. В России для измерения количества теплоты до настоящего времени используется калория и её производные кратные десятой в третьей, шестой и других степенях.

### Энергетические ресурсы мировых лесов

Леса Земли приближённо занимают 3870 га (табл. 10) или 30 % поверхности суши. Преобладающая часть – это естественные леса. Лесные плантации занимают около пяти процентов лесной площади. Тропические и субтропические леса составляют 56 % лесов в мире, в то время как умеренные и арктические леса – 44 %. Распределение ресурсов лесов по континентам представлено в табл. 11.

Таблица 10

Площади мировых лесов

	Площадь, млрд. га	Площадь лесов		Лесные плантации, млрд. га	Площадь лесов на душу населения, га/чел.
		млрд. га	%		
Африка	2978	649	21,8	8	0,8
Азия	3084	547	17,8	115	0,2
Европа	2259	1039	46,0	32	1,4
Северная и Центральная Америка	2136	549	25,7	2	1,1
Океания	849	197	23,3	3	6,6
Южная Америка	1754	885	50,5	10	2,6
Мир	13063	3869	29,6	171	0,6

Сегодня площадь лесов, приходящаяся на душу населения меняется от 6,6 га/чел. В Океании до 0,2 га/чел. В Азии, в Европе, в среднем, эта величина составляет 1,4, а в скандинавских странах – 3,4 га/чел. Очевидно потенциальный вклад лесов в энергетику сильно отличается для различных регионов. Сильно отличаются и условия доступа к лесным ресурсам, что особенно сказывается на возможности производства древесного топлива с улучшенными потребительскими свойствами.

Суммарный объём древесной биомассы над земной поверхностью, определённый для 166 стран, то есть для 99 % общей площади лесов, оценивается в 420 млрд. т. Значительная часть ресурсов древесной биомассы сосредоточена в Южной Америке и приблизительно 27 % приходится на Бразилию. На долю России приходится около 22 %. Среднемировое значение составляет 100 м<sup>3</sup>/га или 109 т/га. В оценках ФАО принята средняя плотность живой древесины 1,09 т/м<sup>3</sup>. Для условий России плотность свежесрубленной древесины принимают, в зависимости от породы, 0,8 – 0,9 т/м<sup>3</sup>.

Таблица 11

## Ресурсы мировых лесов

	Площадь лесов, млрд. га	Объем древесной биомассы		Древесная биомасса	
		м <sup>3</sup> /га	млрд. м	т/га	млрд. т
Африка	649	72	46	109	70
Азия	547	63	34	82	44
Европа	1039	112	116	59	61
Северная и Центральная Америка	549	123	67	95	52
Океания	197	55	10	64	12
Южная Америка	885	125	110	203	179
Мир	3869	100	386	109	421

Глобальное производство деловой древесины и древесного топлива превышает 3,2 млрд. м<sup>3</sup>, примерно половина этого объема составляет древесное топливо, которое на 90 % потребляется развивающимися странами, главным образом в виде колотых дров (табл. 12). И напротив, производство деловой древесины сосредоточено на 80 % в развитых лесоиндустриальных странах Европы и Северной Америки. Переработка деловой древесины сосредоточена в этих же странах. При переработке в первичные и вторичные отходы превращаются около 40 % древесины. Эти отходы могут использоваться только как источник энергии – непосредственно или в виде топлива с улучшенными потребительскими свойствами, такими как пеллеты или брикеты. Таким образом, 70–75% мировой заготовки древесины представляют потенциальный возобновляемый источник энергии. К этому можно добавить отходы лесозаготовок и лесного хозяйства, которые включают крону деревьев и другую лесную биомассу.

Таблица 12

## Производство и потребление древесного топлива, деловой древесины

	Древесное топливо, млн. м <sup>3</sup>		Деловая древесина, млн. м		Пиломатериалы, млн. м <sup>3</sup>		Древесные плитные материалы, млн. м <sup>3</sup>	
	производство	потребление	производство	потребление	производство	потребление	производство	потребление
Африка	463	463	70	66	8	11	2	2
Азия	883	883	244	267	73	87	85	93
Европа	95	92	411	411	116	110	49	49
Северная и Центральная Америка	133	133	618	615	180	174	52	53
Океания	8	8	40	33	7	7	3	2
Южная Америка	168	168	130	127	29	27	5	4
Мир	1753	1750	1515	1521	415	417	198	205

В настоящее время вырабатываемая из биомассы энергия составляет около 14 % конечного потребления энергии в мире. Приблизительно 25 % из этого количества приходится на индустриальные страны, которые заинтересованы в инвестициях, способствующих сокращению выбросов парниковых газов. Большая часть

использования энергии биомассы приходится на удовлетворение потребностей в энергии домашних хозяйств в развивающихся странах.

В развитых индустриальных странах ведутся работы по замедлению изменения климата, вызванного выбросами парниковых газов, для чего поощряется замена ископаемых топлив биотопливом. Чтобы стабилизировать концентрацию CO<sup>2</sup> в атмосфере, глобальная эмиссия парниковых газов должна составить, по крайней мере, 60 % от современного уровня. Приблизительно 80 % от общемировых выбросов парниковых газов составляют выбросы, осуществляемые развитыми индустриальными странами.

Отходы лесной биомассы подразделяются на отходы лесозаготовок и отходы деревообрабатывающей промышленности. Источники и типы отходов приведены в табл. 13.

Таблица 13

*Источники и типы отходов*

<b>Источники отходов</b>	<b>Типы отходов</b>
Лесозаготовки и лесное хозяйство	Ветви, хвоя, листва, пни, корни, низкокачественная, гнилая и горелая древесина
Лесопиление и механическая обработка древесины	Кора, опилки, рейки, горбыль, трещиноватая древесина, стружка
Фанерное производство	Кора, карандаши, опилки, шпон-рванина, кромки, шлифовальная пыль
Плитное производство	Кора, отсев стружки, опилки, шлифовальная пыль

Две трети заготовленной древесной биомассы вывозится для дальнейшей переработки. Остальная биомасса оставляется на месте, сжигается там или используется как топливо. На первый взгляд отходы лесозаготовок привлекательны для энергетического использования. Но если учесть затраты на сбор, погрузку, транспортировку на значительные расстояния, то это окажется не так очевидно. Следует, также, учесть, что вместе с зеленью и другими отходами, вывозятся ценные питательные вещества, которые должны быть возвращены в лесную почву, для чего зола от использованных в качестве топлива отходов должна быть транспортирована обратно в лес и внесена в почву.

### **Технологии энергетического использования древесины**

Солнечная энергия, аккумулированная в древесине за время жизни дерева, может быть высвобождена и полезно использована многими способами. Технологии энергетического использования древесины имеют разную степень распространенности, освоенности и эффективности. Предпринимаются попытки разработки новых технологий и усовершенствования уже известных.

Среди многочисленных вариантов использования теплоты сгорания древесины следует особо выделить: прямое сжигание древесного топлива; производство из древесины генераторного газа; биотехнологическую переработку древесины; производство жидкого топлива из древесины; производство из древесины твердого топлива с лучшими потребительскими свойствами.

Прямое сжигание древесного топлива:

- сжигание древесины в топках паровых или водогрейных котлов производственно-отопительных котельных;
- сжигание древесины в топках паровых котлов промышленных тепловых электростанций;

Производство из древесины генераторного газа:

- производство из древесины генераторного газа и использование его в ка-

честве топлива в паровых или водогрейных котлах;

➤ производство из древесины генераторного газа и использование его в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок, транспортных средств или привода электрогенераторов; типы газогенераторных установок.

Биотехнологическая переработка древесины: производство из древесины биогаза и сжигание его в топках паровых и водогрейных котлов. Производство жидкого топлива из древесины:

➤ производство из древесины метилового спирта и использование его в качестве топлива двигателей внутреннего сгорания;

➤ производство из древесины этилового спирта и использование его в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания;

➤ производство синтетического жидкого моторного топлива.

➤ производство биодизеля;

Производство из древесины твёрдого топлива с лучшими потребительскими свойствами:

➤ производство из древесины древесного угля как товарной продукции – топлива с гораздо более высокими потребительскими свойствами и использование его на тепловых электростанциях или в чёрной и цветной металлургии;

➤ производство топливных гранул (пеллет) и брикетов из древесины.

### **Газификация древесины**

Газообразное топливо из древесины может быть получено сухой перегонкой (**пиролизом**) – разложением древесины при нагревании до 450 °С без доступа воздуха, например, как побочный продукт производства древесного угля или в процессе газификации. Газификация твёрдого топлива, в том числе древесины, – это искусственное превращение твёрдого топлива в горючие газы взаимодействием с духом и водяным паром при высоких температурах. Высокая температура достигается за счёт теплоты полного сжигания части топлива.

Газификация топлива проводится в специальных аппаратах – газогенераторах. При взаимодействии углерода топлива со смесью воздуха и водяного пара происходят все реакции, и получается «паровоздушный» или генераторный газ. Обычно, при газификации древесины получается паровоздушный (генераторный) газ, поскольку испаряющаяся при подсушке топлива вода вступает в реакцию с углеродом и окисью углерода. В процессе газификации образуются также в небольшом количестве и другие горючие составляющие: метан (CH<sub>4</sub>) и другие предельные и непредельные углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>).

В состав генераторного газа кроме горючих составляющих входит азот (N<sub>2</sub>), двуокись углерода (CO<sub>2</sub>), водяной пар и другие продукты термического разложения древесины (смолы, кислоты, спирты).

Различают два вида процессов газификации топлива: прямой и обращённый. В газогенераторах прямого процесса топливо движется в направлении, противоположном направлению движения воздуха и газообразных продуктов горения и термического разложения. В обращённом процессе направление движения топлива, воздуха и газов совпадает.

**Схема газогенератора прямого процесса газификации** приведена на рис. 71. Газогенератор выполняется в виде вертикальной цилиндрической шахты. В верхней части аппарата имеются устройства для загрузки топлива и отвода газообразных продуктов газификации. Внизу устанавливается колосниковая решётка, через которую подается воздух и, если необходимо, водяной пар. Зола и продукты недожога через решётку попадают в зольник. По высоте топливо проходит не-

сколько зон: подсушки, сухой перегонки (швелевания), восстановления и горения. Внутренние поверхности стенки аппарата в нижних зонах покрываются жаростойкой теплоизоляцией. На схеме показано позонное распределение основных происходящих реакций, состава газа и температуры. Поскольку указать точно место окончания одних процессов и начало других невозможно, границы между зонами показаны условно. Максимальная температура в зоне горения достигает 1300 °С. Поданное в зону подсушки, топливо опускается под собственным весом вниз, проходя последовательно характерные зоны. В зону восстановления и в зону горения поступает уголь, образовавшийся в зоне сухой перегонки. Теплота, необходимая для сухой перегонки, поступает из зоны горения угля с газами.

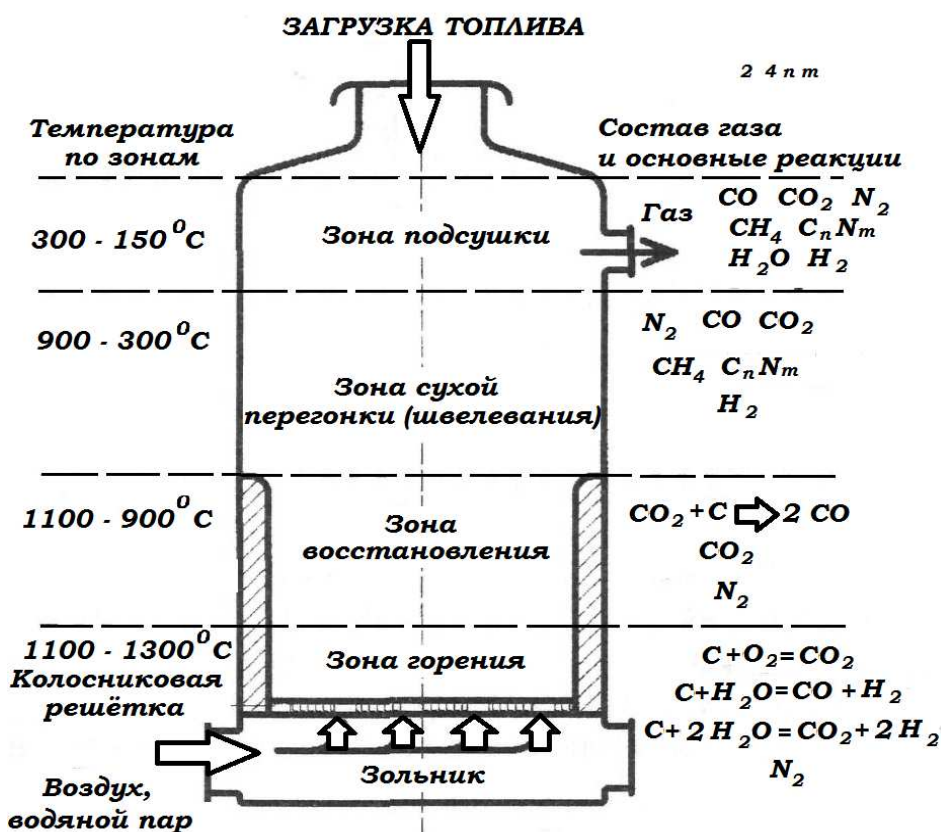


Рис. 71 – Схема газогенератора прямого процесса газогенерации

Выходящий из газогенератора газ содержит мелкие частицы несгоревшего топлива и конденсируемые продукты, выделяющиеся в зоне подсушки и сухой перегонки: водяной пар, смолы, уксусная кислота, спирты и прочее.

Способы энергетического использования такого газа зависят от глубины очистки от конденсируемых составляющих и уноса несгоревшего топлива.

Основные отличия схемы газогенератора с обращенным процессом газификации состоят в следующем. Топливо загружается в верхней части аппарата, генераторный газ выводится снизу, воздух подаётся через фурмы, расположенные по окружности выше зоны горения. Как и в генераторе с прямым процессом различают четыре зоны: подсушки, сухой перегонки, восстановления и горения, только зона восстановления находится ниже зоны горения.

### Производство жидкого моторного биотоплива

**Моторные топлива** – это смеси жидких углеводородов с неуглеводородными примесями, компонентами различного происхождения и присадками, используемые в качестве топлив для двигателей. Моторные топлива получают главным образом (в

1995 году на 99 %) переработкой нефти, природного и попутного газов.

Непрерывный и интенсивный рост цен на ископаемое жидкое топливо обусловил рост интереса к поиску его заменителей для двигателей внутреннего сгорания. Предложены десятки технологий производства жидкого моторного биотоплива из различных типов биомассы (основные из которых на рис. 72).

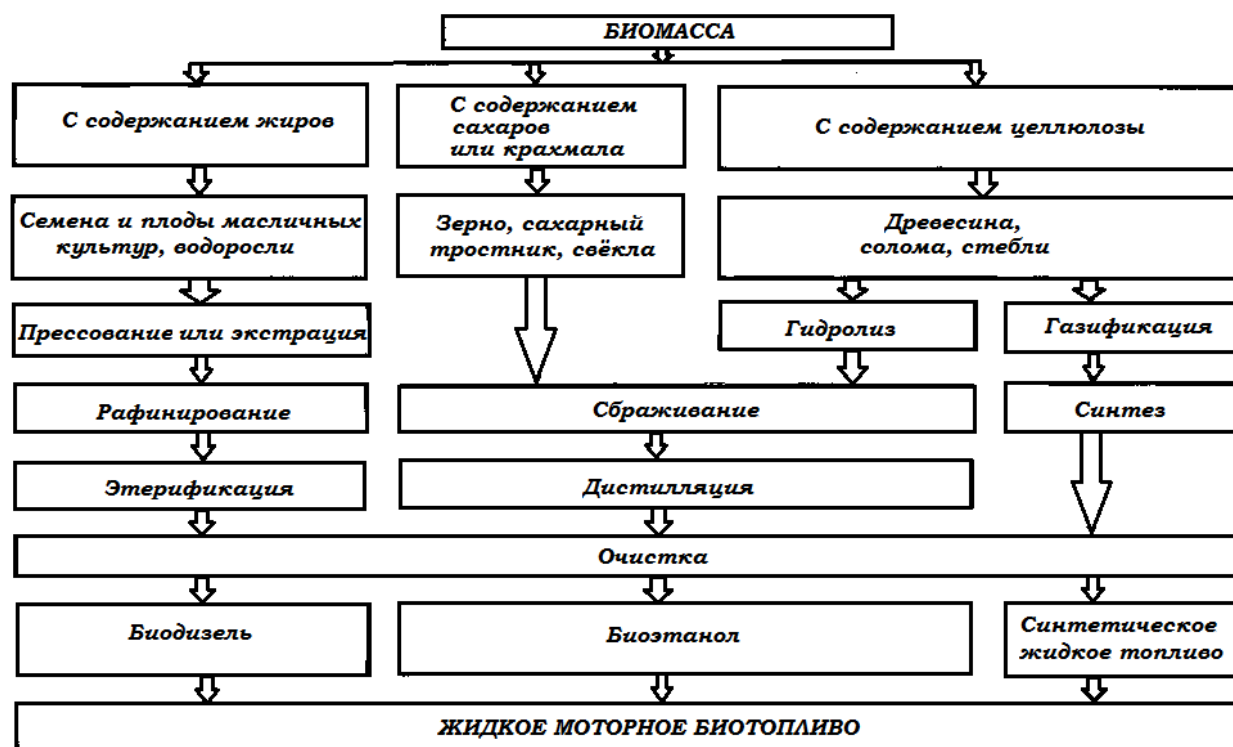


Рис. 72 – Технологии производства жидкого моторного биотоплива

Наиболее широко используется в мировой практике жидкое топливо двух видов: биоэтанол и биодизель. **Биоэтанолом** называют этиловый спирт  $C_2H_5OH$ , полученный из биомассы различного происхождения. Микробиологические технологии получения спирта из биомассы известны несколько столетий. Более старая технология заключается в сбраживании пищевого сырья, содержащего сахара или крахмал, под действием энзимов («закваски»). Получающийся промежуточный раствор содержит обычно не более 15 % этанола, так как при более высокой концентрации дрожжи, выступающие источником ферментов, погибают. Для получения растворов более высоких концентраций применяется фракционная дистилляция. Она позволяет получить раствор, содержащий 96,5 % этанола (по массе).

Другая технология микробиологического производства биоэтанола состоит в гидролизе растительной биомассы. К целлюлозосодержащим материалам, которые могут быть использованы в качестве сырья для получения этанола, относятся отходы лесопиления и деревообработки, переработки сельскохозяйственных культур, целлюлозно-бумажных производств, текстильных предприятий, муниципальные отходы, макулатура и верховой слаборазложившийся торф.

Критериями использования тех или иных материалов служат их стоимость, размеры запасов, возможности концентрирования их в районе расположения гидролизного производства, технологические свойства.

В результате гидролиза получают гидролизаты – водные растворы моноз и полисахаридов и твёрдый остаток – лигнин. Содержание моноз в гидролизатах может достигать 90 %. Затем происходит сбраживание и дистилляция, принципиально не отличающиеся от этих процессов при производстве этанола из пищевого сырья.

Основными технологическими стадиями производства технического этанола служат:

- измельчение древесного сырья;
- перколяционный (в неподвижном слое) гидролиз полисахаридов растительного сырья разбавленной серной кислотой при температуре 170–190 °С с получением гидролизата (раствора моносахаридов);
- подготовка гидролизата к биохимической переработке;
- сбраживание сусла, приготовленного на основе нейтрализованного и очищенного гидролизата с получением бражки; брагоперегонка и ректификация спирта с использованием, в основном, пятиколонной схемы.

Для получения топливного этанола на гидролизных и биохимических заводах после незначительной реконструкции, как один из вариантов, можно использовать двухколонную схему очистки и ректификации спирта.

Распространённым жидким биотопливом служит **биодизель** – топливо для двигателей с внутренним смесеобразованием и воспламенением от повышения температуры воздуха в такте сжатия.

Для таких двигателей в качестве топлива или его компонента в смеси с нефтяным дизельным топливом используются продукты этерификации растительных жиров. Для этерификации растительного масла используется метиловый спирт в количестве около 100 кг на одну тонну. В готовом топливе метиловых эфиров должно быть не менее 96 %. Биодизель должен быть тщательно очищен от остатка метанола и продуктов омыления. Маркируется биодизель буквой «В» (начальная буква слова «bio») и цифрой, которая обозначает процентное содержание биодизеля в топливе, например, «В2», «В100». Применение биодизеля в качестве присадки к нефтяному дизельному топливу дает дополнительный экологический эффект в связи с тем, что такая добавка улучшает смазывающие свойства топлива и позволяет отказаться от дорогостоящих и экологически опасных серосодержащих присадок.

Наличие в нефтяном топливе до 10 % биодизеля никак не отражается на его работе. Повышение содержания биодизеля в пределах 10 – 30 % требует перенастройки двигателя. При большем содержании биодизеля в топливе оно может использоваться только в специально разработанных двигателях.

В разных странах для производства биодизеля используются различные масличные культуры, позволяющие получать от 200 до 6000 л биодизеля с одного гектара. Важно обратить внимание на высокие показатели водорослей как потенциальных источников сырья для производства биодизеля. Опытные производства уже действуют в Новой Зеландии и Малайзии. В Южной Африке начато сооружение 90 установок по производству биодизеля из водорослей с годовой производительностью по 3,5 млн. л каждая.

Производство биодизеля сосредоточено в странах ЕС (более млн. т/год) и США (более 2200 млн. л/г). Многие страны во всем мире имеют программы по развитию производства и увеличению потребления жидкого моторного топлива. Себестоимость жидкого моторного биотоплива сильно различается в зависимости от климатических условий страны-производителя и применяемых технологий. Наиболее дешевый биоэтанол (с себестоимостью 0,19 долл/л) производится из сахарного тростника в Бразилии. В США себестоимость биоэтанола из зерновых составляет около 0,55 долл./л. Стоимость жидкого моторного топлива и структура его цены для стран ЕС приведена в табл. 14.

Известно, что цена продажи биотоплива благодаря целенаправленной государственной налоговой политике ниже, чем для моторного топлива из ископаемого сырья, несмотря на более высокую себестоимость производства.



## Структура цены моторного топлива в странах ЕС, евро/л

Сырьё	Цена сырья	Стоимость переработки	Себестоимость	Налоги на выбросы + НДС	Цена продажи
Подсолнечник (биодизель)	0,379	0,143	0,522	0,00 + 0,09	0,610
Зерновые (биоэтанол)	0,306	0,147	0,455	0,00 + 0,08	0,540
Сахарная свекла (биоэтанол)	0,200	0,147	0,346	0,00 + 0,06	0,405
Нефть (неэтилированный бензин)	-	-	0,350	0,37 + 0,12	0,835
Нефть (газойль, дизтопливо)	-	-	0,320	0,27 + 0,09	0,680

**Производство древесного угля**

**Древесный уголь** – микропористый высокоуглеродистый продукт, образующийся при пиролизе (термолизе) древесины. Под пиролизом древесины понимают процесс её распада под действием высокой температуры без доступа кислорода. В научной литературе наряду с термином «пиролиз древесины» употребляются термины «углежжение», «сухая перегонка», «термическое разложение древесины». Термическое воздействие с ограниченным доступом кислорода называют газификацией, с избыточным (превышающим стехиометрическое соотношение) – горением.

Древесный уголь используется для производства активированного угля, в химической промышленности, чёрной и цветной металлургии, в некоторых технологиях производства кремния. Как источник энергии древесный уголь используется в ограниченных объёмах, главным образом для каминов, грилей, национальных японских очагов и других подобных устройств. Ведутся исследования использования древесного угля как промежуточного продукта в технологии производства некоторых видов моторного биотоплива (например, диметилового эфира).

При термическом распаде древесины образуются древесный уголь, жидкие и газообразные продукты. Продукты выходят из горячей зоны частично в капельной фазе, частично в виде паров, образуя вместе с неконденсирующимися газами парогазовую смесь. Этот процесс однозначно описать не может.

На результаты влияет скорость нагрева, продолжительность пребывания сырья при той или иной температуре, конечная температура нагрева, а также начальная влажность, размеры частиц древесины, скорость циркуляции газового потока через слой древесины и другие факторы. Одновременно с первичным распадом древесины протекают разнообразные вторичные реакции. Некоторые из них приводят к дополнительному расщеплению продуктов распада, другие – к полимеризации первичных продуктов. Состав итоговых продуктов во многом зависит от времени пребывания образовавшейся при первичном распаде парогазовой смеси в горячей зоне. Если рассматривать общие тенденции термораспада, то можно утверждать, что чем продолжительнее процесс и чем выше температура, тем больше образуется термически устойчивых продуктов – ароматических соединений, углекислого газа, окиси углерода, метана.

Режим пиролиза определяющим образом влияет на выход и состав продук-

тов, но при прочих равных условиях выход зависит от породы дерева, древесина которой перерабатывается и части древесного ствола, подверженной пиролизу. В табл. 15 приведён выход продуктов пиролиза древесины и коры основных произрастающих в РФ пород. Приведённые данные следует рассматривать как усреднённые, так как выход зависит также от условий произрастания, возраста деревьев, даже от части ствола, которую подвергли термолузу.

Таблица 15

*Выход продуктов пиролиза древесины*

Сырьё		Массовые доли продуктов пиролиза абсолютно сухой древесины, %				
		Уголь	Смолы	Легколетучие компоненты	Газы	Вода разложения
Ель	древесина	37,9	15,3	6,3	18,2	22,3
	кора	42,5	18,4	1,9	19,8	17,4
Сосна	древесина	38,0	16,7	6,2	17,7	21,4
	кора	40,5	18,2	5,7	19,7	15,9
Берёза	древесина	33,6	14,3	12,3	17,0	22,8
	кора	37,9	24,0	4,7	18,6	14,8
Осина	древесина	33,0	16,0	7,3	20,4	23,3

В промышленном производстве выход угля часто бывает заметно меньше, чем приведенный в табл. 15. Самые распространенные причины – это попадание кислорода воздуха в аппарат, вследствие чего происходит выгорание части угля, а также особенности режима и потери при перегрузках, исключение из баланса отсеянной угольной пыли.

Различают четыре стадии процесса:

1. Сушка. Температура не выше 150 °С. Процесс эндотермический.
2. Распад гемицеллюлоз, отщепление части химически связанной воды, образование CO, CO<sub>2</sub>, метана, уксусной кислоты, метанола. Температура 150 – 275 °С. Процесс эндотермический.
3. Распад целлюлозы и лигнина. Вторичные реакции полимеризации. Образование основных количеств смолы. Температура 275 (150) – 450 °С. Процесс экзотермический. Особенно сложен для управления и контроля.
4. Прокалка угля. Удаление из углеродного скелета остатков летучих веществ, удерживаемых адсорбционно. Формирование углеродных кристаллоидных структур. Отщепление функциональных групп, удерживаемых углеродом. Температура 400 (150) – 450 °С. Параллельно идут эндотермические и экзотермические реакции. Суммарный баланс эндотермический.

В процессе пиролиза выделяются окись и двуокись углерода, газообразные углеводороды (предельные и непредельные), водород, вода (не только влага древесины, но и продукт химического распада её компонентов), муравьиная и уксусная кислоты и, в небольшом количестве, высшие кислоты того же ряда, метанол, кетоны, эфиры.

Все перечисленные вещества удаляются в форме парогазовой смеси. В ней в капельной фазе, в форме тумана находятся и смолистые вещества. Эти последние по признаку растворимости в водном конденсате из парогазовой смеси (жидке) делятся на растворимую и отстойную смолы. Растворимая, в основном, состоит из осколков целлюлозы и гемицеллюлоз углеводного и углеводородного характера, но содержит и простейшие фенолы, растворимые в жидке, кислоты. Отстойная смола получается, главным образом, за счёт распада лигнина и содержит веще-

ства фенольного характера, нейтральные соединения различной структуры, кислоты.

Темпы выделения разных компонентов различны. Первыми выделяются те вещества, которые образуются за счёт отщепления боковых цепей полимеров древесины и распада термически непрочных её компонентов (камеди, гемицеллюлозы). В последнюю очередь разрушается лигнин. Распад имеет характер цепи превращений. По ходу процесса возрастает уплотнение твердого остатка и доля в нем углерода. Максимальное удержание углерода в угле – около 95 %.

Аппаратов для термического разложения древесины создано множество. Исторически наиболее ранними были ямное и кучное углежжение. Именно эти способы производства обеспечивали углём знаменитые демидовские заводы Урала, многочисленные кузницы, существовавшие почти в каждой деревне. Профессия углежога была очень распространенной и в России, и в европейских странах, и в Азии. У многих народов в Африке до сих пор в очагах для приготовления пищи применяется только древесный уголь, и его заготавливают традиционными способами. Когда возникает разовая потребность в угле, ямное и кучное углежжение используют и в наше время.

### **Виды и ресурсы древесного сырья для производства топлива**

К древесному топливу относят все виды топлива, которые можно получить из лесных материалов, содержащих древесину или отдельные части дерева без химических преобразований. Древесное топливо является одним из видов биологического топлива. По происхождению древесное топливо разделяют на первичное и вторичное (рис. 73).

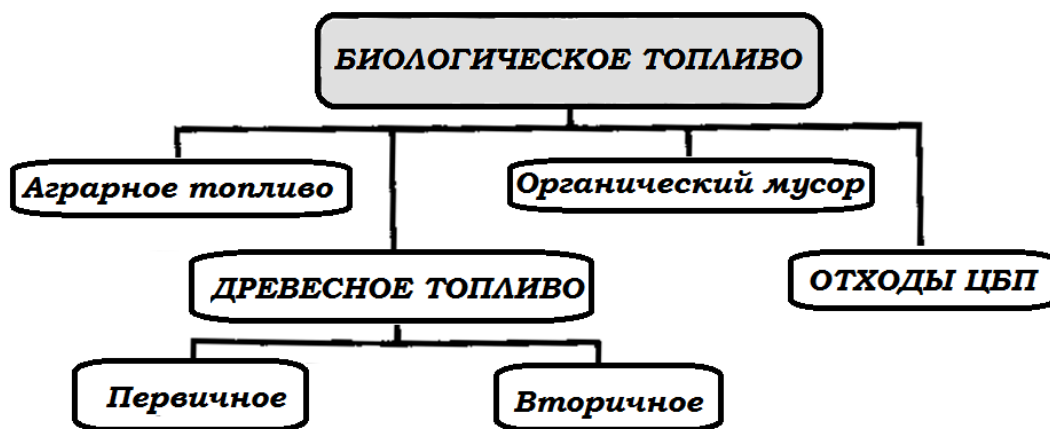


Рис. 73 – Классификация биологического топлива

К **первичному древесному топливу** относят такое древесное сырьё, которое не подходит для другого использования. Первичное древесное топливо – это дровяная древесина, порубочные остатки, пни и корни деревьев, хвоя, древесина кустарников, древесина от рубок ухода, неликвидная древесина, отходы деревообработки, древесина, поврежденная при транспортировке и хранении.

Ко **вторичному древесному топливу** относят древесное сырьё, которое первоначально используется в других целях, не связанных с энергетикой (упаковка, модельная древесина, рейки).

Отдельным видом биологического топлива, связанного с глубокой химической переработкой древесины, служат продукты целлюлозно-бумажных производств (ЦБП).

Каждое дерево в лесу – это самостоятельный объект, требующий специальных методов для измерения и качественной оценки. В зависимости от производственного использования из отдельных частей дерева могут получаться разные составляющие:

- ствол – деловые сортименты, дрова, отходы раскряжёвки (кора деловой части и вершинка ствола);
- крона – дрова, сучья, зелёная масса (мелкие ветви с листвой (хвоей));
- пни и корни – дрова, сырьё для химической переработки.

Биомасса лесных экосистем включает фитомассу древесной растительности, напочвенного покрова, биомассу сухостоя и захламленности.

Сырьём для производства древесного топлива могут служить составляющие всех частей дерева.

Источником сырья для древесного топлива в первую очередь служат хозяйственные мероприятия, связанные с изъятием древесины (рубки). После рубок основным сырьём для древесного топлива становятся дровяная древесина и отходы лесозаготовок. При необходимости, для топливных целей можно использовать древесную зелень, пни и корни, сучья, подрост или подлесок. Но изъятие этих ресурсов из лесных экосистем требует дополнительных трудозатрат, а также соблюдения экологических ограничений (сохранение баланса питательных веществ, поддержание биологического разнообразия).

Возможные запасы сырья для древесного топлива могут оцениваться по материалам лесоустройства. Реальный выход топливного сырья будет зависеть от технологий лесозаготовок, экологических и экономических ограничений.

### **Отходы лесозаготовок и деревообработки**

В процессе заготовки и переработки древесины возникают отходы и потери. Отходами производства называются остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образующиеся в процессе производства основной продукции и утратившие частично или полностью потребительскую стоимость исходного сырья и материалов. Также к отходам следует относить древесные изделия, отслужившие свой срок и утратившие свою потребительскую ценность.

В отличие от отходов, **потери** следует считать те материальные ценности, которые безвозвратно теряются в процессе производства и потребления. Даже при самой совершенной технологии лесозаготовок будут получаться технологически неизбежные отходы, изменяющие свои размеры, форму, качество и количество.

В случае, если отходы предполагают использовать в дальнейшем производстве, их называют **вторичными материальными ресурсами**. Они могут быть использованы, например, в качестве энергосырьевых ресурсов.

Существует большое количество классификаций вторичных древесных ресурсов. Различные источники предлагают классифицировать их по отраслям лесного комплекса, видам производств, видам ресурсов, по породам, источнику образования в технологическом процессе, агрегатному состоянию, объёму образования, степени использования, месту использования, сферам воздействия на окружающую среду и прочее.

Большинство из специалистов сходится во мнении, что классифицировать вторичные древесные ресурсы удобнее всего по следующим укрупнённым признакам:

- экологическому (влияние изъятия ресурсов на окружающую среду);
- размерно-качественному (направлениям использования вторичных древесных ресурсов и их потребительским свойствам);
- экономическому (доступности ресурсов);
- производственному (лесозаготовки, лесопиление, деревообработка).

По производственному признаку отходы разделены на две части:

➤ отходы лесозаготовительной промышленности, то есть отходы, которые получаются в процессе заготовки и вывозки древесины из леса, не имеющие экономической ценности для дальнейшей переработки;

➤ отходы лесоперерабатывающей промышленности, то есть отходы, которые образуются в процессе производства пиломатериалов, фанеры, древесностружечных плит и другого.

**Отходы лесозаготовительной промышленности** включают:

➤ отходы лесозаготовок на лесосеке или малоценную древесину – тонкомерная древесина, валежник, фаутные деревья; обломки стволов, образующиеся в процессе заготовки леса; отходы кроны – сучья, ветви и вершинки, хвоя, листья, неодревесневшие побеги; пни и корни;

➤ отходы, образующиеся на погрузочной площадке (верхнем складе) – отходы кроны и отходы раскряжевки – опилки, козырьки и откомлёвки;

➤ отходы лесозаготовок, образующиеся на нижнем складе; отходы кроны сучья, вершинки, ветви, древесная зелень; отходы раскряжевки – откомлёвки, козырьки, опилки, дообрубki сучьев, низкокачественная стволовая древесина, кора.

**Отходы лесоперерабатывающей промышленности** классифицируются по производственному признаку на отходы механической и химической переработки древесины.

**Отходы механической переработки древесины:**

1) кусковые отходы лесопиления и деревообработки: горбыли, рейки, срезки, отрезки бревен и материалов; обрезки плит;

2) отходы фанерного производства: карандаши (остатки фанерного производства), отструг, отрезки чурбаков, шпон-рванина;

3) мягкие отходы лесопиления и деревообработки: опилки, стружка, шлифовальная пыль;

4) кора, образующаяся при окорке деловых сортиментов.

**Отходы химической переработки древесины:**

➤ лигнин (отходы гидролизного производства);

➤ чёрные щелока (производство сульфатной целлюлозы);

➤ прочие горючие отходы.

### **Отходы лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности**

При заготовке и переработке древесины образуются дрова и древесные отходы, которые могут быть использованы в качестве источника энергии. Установлено, что имеется зависимость между количеством заготовленной и вывезенной стволовой древесины и количеством образующихся отходов лесозаготовок.

Отходы лесозаготовок можно классифицировать по разным признакам:

➤ последовательности их образования;

➤ по характеру причин, вызывающих потери и отходы;

➤ возможности их использования;

➤ физико-механическим и химическим свойствам;

➤ форме и размерам и другим.

Места образования различных видов отходов лесозаготовок по фазам технологического процесса показаны в табл. 16. Номенклатура отходов деревообрабатывающего производства приведена в табл. 17.

Таблица 16

Места образования различных видов отходов лесозаготовок  
по фазам технологического процесса

Наименование групп, подгрупп и видов лесозаготовок	Место образования отходов лесозаготовок в зависимости от технологического процесса		
	Вывозка стволов с кроной на нижний склад для первичной переработки древесины	Вывозка хлыстов на нижний склад для первичной переработки	Вывозка сортиментов на нижний склад без первичной переработки древесины
<b>I класс. ДРЕВЕСНЫЕ ОТХОДЫ</b>			
<b>А. Твёрдые или кусковые отходы</b>			
А 1: отходы кроны: ветви, сучья, вершины	50 % – на лесосеке, в т. ч. 35 % – на пункте погрузки; 50 % – на нижнем складе	100 % – на лесосеке в т. ч. 85 % на пункте погрузки	100 % – на лесосеке, в т. ч. 85 % – на верхнем складе
А 2: хворост	На лесосеке	На лесосеке	На лесосеке
Отходы стволов и корней:			
А 3: корни	то же	то же	то же
А 4: пни	- // – //-	- // – //-	- // – //-
А 5: откомлёвки	На нижнем складе и разделочной площадке	На нижнем складе и разделочной площадке	На верхнем складе
А 6: козырьки	то же	то же	то же
А 7: горбыли, рейки, торцовые обрезки	На лесопильном, распиловочно-раскроечном и шпалорезном цехах (заводах)	На лесопильном, распиловочно-раскроечном и шпалорезном цехах (заводах)	нет
Б. Мягкие отходы (опилки)	1–2 % – на лесосеке и 98 – 99 % – на нижнем складе	1 – 2 % – на лесосеке и 98 – 99 % – на нижнем складе	на лесосеке, на верхнем складе
<b>II класс. КОРА</b>			
В. Молодая кора (кора ветвей, сучьев, вершин и деревьев I класса возраста)	50 % – на лесосеке, вместе с ветвями, сучья и вершинами и хворостом, 50 % – на нижнем складе	100 % – на лесосеке	100 % – на лесосеке
Г. Старая кора (кора средней и комлевой частей)	На нижнем складе	На нижнем складе	На нижнем складе
<b>III класс. ДРЕВЕСНАЯ ЗЕЛЕНЬ</b>			
Д. Зелень (хвоя и листва)	55 % – на лесосеке, 45 % – на нижнем складе	На лесосеке	На лесосеке
Е. Лапка (тонкие ветви и неодревесневшие побеги)	то же	то же	то же

Отходы механической переработки древесины можно классифицировать:

1) по сортиментам исходного сырья (отходы пиломатериалов, отходы фане-

ры и древесноволокнистых плит, отходы древесностружечных плит);

2) по породам древесины (хвойная, лиственная);

3) по влажности ((в %) сухие до 15, полусухие 16 – 30, влажные 31 и выше, сверхвлажные 100 и выше);

4) по структуре (кусковые крупные, кусковые средние, кусковые мелкие, сыпучие);

5) по стадийности обработки (первичные, вторичные).

Таблица 17

*Номенклатура отходов деревообрабатывающего производства*

Наименование	Группа отходов по структуре	Характеристика	Размеры, мм		
			длина	ширина	толщина
Отходы производства пиломатериалов					
Рейка обзолная	Кусковые крупные	Боковая часть доски, отделяемая при продольном раскрое необрезной доски	1000-6500	-	-
Короткомер крупный	То же	Неполномерные короткие отрезки пиломатериалов	500-1500	100-200	10-50
Недомерок средний	Кусковые средние	Отрезки после продольной и поперечной распиловки	250-500	100-220	16-35
Мелочь кусковая	Кусковые мелкие	Мелкие отрезки и срезки после продольной и поперечной распиловки	До 250	15-60	12-30
Стружка	Сыпучие	Древесина, отделяемая резцами при строгании или фрезеровании	2-25	-	0,2-1,5
Опилки	То же	Отделяемая в процессе распиловки зубьями пил часть древесины	1-5	-	0,1-3
Древесная пыль	-II-	Пылевидные частицы древесины, измельчаемой в процессе обработки резцами или шлифованием	-	-	0,01 - 0,02
Отходы производства фанеры и древесноволокнистых плит					
Обрезки клееной фанеры	Кусковые крупные	Обрезки	225-1525	15- 175	4-15
Обрезки строганого шпона	То же	То же	30 - 1700	15-150	0,8-1,2
Опилки	См. «Отходы производства пиломатериалов»				
Древесная пыль	То же				
Отходы производства древесностружечных плит					
Обрезки плит	Кусковые крупные	Обрезки	225-1700	15-220	6-32
Опилки	См. «Отходы производства пиломатериалов»				
Древесная пыль	То же				

Количество отходов деревообрабатывающих производств зависит от качества поставляемого сырья, типа и размера изготавливаемой продукции, технической оснащенности предприятия и его мощности. Количество отходов в деревообработке составляет 10 – 50 % исходного сырья (пиломатериалов, фанеры).

Виды и количество кусковых отходов в различных деревообрабатывающих производствах указаны в табл. 18.

*Виды и количество кусковых отходов в деревообрабатывающих производствах*

Производство	Сырьё	Кусковые отходы	Количество отходов, % от сырья
Производство черновых заготовок	Пиломатериалы	Рейки, торцовые отрезки	50
Столярно-мебельные производства	Пиломатериалы	Тоже	35-40
	Древесные плиты и фанера	Обрезки плит и фанеры	10-15
Производство паркета	Пиломатериалы, черновые заготовки	Рейки, отрезки досок	20-40

Целесообразно создание комплексной технологии, обеспечивающей безостаточную переработку всех древесных отходов – от рубок ухода в лесхозах, порубочных остатков, фаутной и неделовой древесины в лесозаготовительных предприятиях, отходов деревопереработки на лесоперерабатывающих предприятиях. При этом производимая продукция должна пользоваться устойчивым спросом, а сама технология должна быть экологически чистой. Важное место в такой технологии должно быть отведено производству древесного топлива.

### **Отходы производства целлюлозы, бумаги и картона**

Общие для ЦБП нормативы образования отходов в настоящее время отсутствуют. На каждом предприятии разрабатывается «Проект нормативов образования и лимитов на размещение отходов (ПНОЛРО)», в котором на основе действующих нормативов потребления материальных ресурсов рассчитываются объёмы образования отходов и лимиты на их размещение. Лимиты согласовываются с региональными органами Ростехнадзора РФ и служат для предприятия основным документом, регламентирующим образование и размещение отходов.

Учёт образовавшихся, использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц отходов, а также размещение отходов осуществляется в соответствии с постановлением Росстата от 17.01.2005 г. об утверждении Порядка заполнения и представления формы федерального государственного статистического наблюдения №2-ТП (отходы) «Сведения об образовании, использовании, обезвреживании, транспортировании и размещении отходов производства и потребления».

Отходы производства целлюлозы и бумаги можно разделить на группы:

- отходы при производстве сульфатной целлюлозы;
- отходы при производстве сульфитной целлюлозы;
- отходы при переработке макулатуры;
- отходы при производстве бумаги и картона.

При производстве сульфатной целлюлозы образуются жидкие, твёрдые и газообразные виды отходов.

**Жидкие отходы** – чёрный щелок, практически полностью утилизируется, сгущается и сжигается для регенерации используемых в процессе варки химикатов и получения энергии. Незначительная часть в виде утечек и промывов поступает на внеплощадочные очистные сооружения.

**Газообразные отходы** – летучий органический углерод, дурно пахнущие соединения – сероводород, метилмеркаптан, диметилсульфид, диметилдисульфид. Концентрированные газы поступают от котла, выпарной установки и от отдувки конденсатов в стриппинг-колонне. В сумме их количество составляет свыше 25 м<sup>3</sup>/(т в.с.ц.). Концентрированные газы (а в некоторых случаях и разбавленные) со-



бираются и сжигаются либо в известерегенерационной печи, содорегенерационном котле, либо в специальной печи.

При производстве сульфатной целлюлозы накапливаются различные виды твёрдых отходов:

1. Кора и древесные отходы при подготовке сырья;
2. Шламы неорганических веществ от регенерации химикатов;
3. Шлам от обработки сточных вод (неорганические вещества, волокна и избыточный активный ил);
4. Золонос от котлов;
5. Отходы (в основном песок) от обработки древесины;
6. Зола и разнообразные материалы (строительные отходы и прочее).

Большинство органических веществ, которые можно рассматривать как отходы производства, сжигаются для получения энергии.

Осадки и известковый шлам выводятся из цикла регенерации химикатов для поддержания на приемлемом уровне количества инертных непроецесных веществ и химикатов, ненужных для ведения технологического процесса.

Осадки от обработки сточных вод служат наиболее важной группой отходов. Большое количество осадков образуется при первичной механической очистке сточных вод и при обработке сточных вод активным илом. Осадок обычно сгущается перед обезвоживанием его на фильтр-прессе, шнек-прессе или вакуум-фильтре. Часто перед обезвоживанием избыточный активный ил смешивается с осадком из первичных отстойников и измельчённой корой. Смешанный осадок может быть обезвожен до 65–75 % влажности на фильтр-прессе и до 50 – 60 % влажности на шнек-прессе при использовании пара на ступени предварительной обработки осадка.

При сжигании осадка получение дополнительной энергии близко к нулю или имеет отрицательное значение, если влажность осадка выше 60 %, или если осадок содержит большое количество неорганических веществ. Для повышения теплотосодержания осадка его часто смешивают с корой или с другими древесными отходами. В табл. 19 приведены ориентировочные удельные нормы образования горючих отходов производства беленой и небеленой сульфатной целлюлозы и возможные пути их использования.

Таблица 19

*Характеристика основных горючих отходов, образующихся в процессе производства сульфатной целлюлозы*

Тип отходов	Происхождение	Количество отходов. кг/(т в.с.ц.)	Возможный способ утилизации
Кора	Окорка балансов	90	В качестве топлива
Опилки и мелкая некондиционная щепа	Распиловка балансов, рубка	30 – 50	В качестве топлива; для производства древесно-стружечных плит
Отходы сортирования	Сортирование целлюлозы	31	В качестве топлива
Чёрный щёлок	Варка	950 – 1600	Сжигание в специальных топках
Шлам (осадок)	Обработка сточных вод	10	Сжигание во вспомогательных топках

**Отходы при производстве сульфитной целлюлозы.** При производстве сульфитной целлюлозы образуются жидкие и твёрдые виды отходов.

При варке целлюлозы на натриевом основании образуются лигно-сульфонаты, основная часть которых выпускается в виде товарного продукта. При отсутствии спроса на рынке лигносульфонаты сбрасываются со сточными водами, так как испробованные способы утилизации лигносульфонатов сжиганием не нашли практического применения из-за высокой химической агрессивности продуктов сгорания.

При варке целлюлозы на магниевом основании отработанный варочный раствор практически полностью утилизируется, сгущается и сжигается для регенерации используемых в процессе варки химикатов и получения энергии. Незначительная часть в виде утечек и промоек поступает на внеплощадочные очистные сооружения.

Производство сульфитной целлюлозы связано с образованием различных типов специфических твёрдых производственных отходов, большинство из которых может быть утилизировано. Эти отходы формируются на различных стадиях производственного процесса, таких как окорка, рубка, сортирование и прочих.

### **Производство, транспорт и хранение древесного топлива**

Древесное топливо можно разделить на первичное и вторичное.

**Первичное древесное топливо** – это дровяная древесина, порубочные остатки, пни и корни деревьев, хвоя, древесина кустарников, древесина от рубок ухода в молодняках и средневозрастных посадках, неликвидная древесина, периодически неликвидная древесина, отходы деревообработки, поврежденная древесина при транспортировке и хранении. Кора не является древесным топливом, её можно отнести к первичному биотопливу.

**Вторичное древесное топливо** – это упаковочная тара, использованные строительные конструкции, изделия, модельная древесина и прочее.

Древесное топливо можно классифицировать и иным образом:

➤ **необлагороженное топливо** – полученное из леса или как отходы какого-либо производства: дрова, дроблёные отходы, стружка, щепа, опилки.

➤ **облагороженное топливо** – специально произведенные из необлагороженного топлива продукты: брикеты (или цилиндры), гранулы и древесный порошок.

Далее приведена краткая характеристика древесных видов топлива.

**Дрова** – расколота, распиленная или круглая древесина с корой из стволов, веток, пеньков. Влажность 55–60 %, после сушки в летний период влажность может снизиться максимум на 15 %. Зольность дров менее двух процентов сухого вещества.

**Дроблёное древесное топливо** – дроблёное первичное и вторичное древесное топливо, то есть топливо в границах от лесорубочных остатков до использованных деревянных конструкций и изделий. Дробленое древесное топливо может быть различной влажности и представляет собой куски разной величины. Именно дробленое топливо из вторичной древесины используется в газификаторах, поскольку приготовление из него однородной щепы затруднено, и оно может иметь примеси в виде песка, красок, лаков, связующих защитных покрытий. Зольность достигает десяти и более процентов.

**Топливная щепа** – это топливо, полученное путём разрушения древесины с помощью рубящего ножеобразного инструмента. Топливная щепа имеет кускообразную форму с относительно чистой поверхностью среза и приблизительно одинаковым размером кусков. Влажность щепы зависит от влажности древесины. Зольность может быть (в %): 0,6 – древесина ствола, 3 – ветки и кора, 5 – хвоя.

**Опилки и стружка** – побочный продукт при деревообработке. Размер частиц от одного до пяти миллиметров. Влажность зависит от перерабатываемого

материала, то есть от четырёх до пяти процентов и до естественной влажности. Зольность составляет менее 0,5 %.

**Кора** может быть в чистом виде использована как топливо. Особенностью коры является, как правило, высокая влажность, что требует для её сжигания котлоагрегатов специальной конструкции. Характеризуется повышенной по сравнению с древесиной зольностью из-за примесей, попадающих в неё за период роста дерева, транспортировки и хранения.

**Топливные брикеты** (цилиндры) – облагороженное древесное топливо, полученное путём прессования хорошо размельченного первичного древесного сырья. Размеры брикетов – длина 10–30 сантиметров и ширина или диаметр – 6–12 сантиметров. Брикетирование производится как с целью повышения плотности сырья для повышения рентабельности его перевозки, так и для удобства использования при сжигании. Влажность брикетов от восьми до десяти процентов, насыпная плотность – от 350 до 650 кг/м<sup>3</sup>, зольность – не более одного процента.

**Древесный порошок** производится путём размола древесины. Производство часто комбинируется с сушкой сырья при отсутствии достаточного количества сухих древесных отходов.

**Топливные гранулы** – это облагороженное древесное топливо. Производится путём прессования сухой размолотой древесины или коры. Размер гранул колеблется от 6 до 12 миллиметров. Размеры частиц от 0,5 до 3,0 мм. Зольность древесных гранул до 1,5 %, корьевых – до 3,5 %.

Гранулы могут использоваться как в котлоагрегатах с топками прямого сжигания, так и в бытовых котлоагрегатах.

Возможен размол гранул и сжигание древесной пыли с помощью пылевой горелки. В этом случае гранулирование только форма упаковки. Топливные гранулы для бытового потребления должны быть более жёсткими, чем для теплостанций и не давать древесной пыли после трёх перегрузок.

### **Технология производства топливной щепы**

В качестве сырья при производстве топливной щепы используются отходы различных деревообрабатывающих и лесозаготовительных производств. Укрупнённо все отходы можно разделить на кусковые (твёрдые) и сыпучие (мягкие). К **кусовым отходам** относят сучья, вершины, пни и корни, обрезки хлыстов и бревен (отходы раскряжёвки и разделки), горбыли, рейки, отрезки пиломатериалов и заготовок, обрезки фанеры, лущеного и строганного шпона, древесностружечных, древесноволокнистых и столярных плит, гнуто-клееных заготовок, шпон-рванину, карандаши, отрезки карандашей.

К **сыпучим отходам** относят станочную стружку, опилки, отходы окорки, древесную пыль, отсев технологической щепы.

Несмотря на разнообразие существующих и возможных технико-технологических решений при подготовке и измельчении древесных отходов, на практике традиционно эти решения сводятся к двум технологическим схемам.

Для кусковых древесных отходов: измельчение в щепу на рубительных машинах, сортировка щепы. Для сыпучих – сортировка отходов. Оптимальный размер частиц, до которого следует измельчать дрова и кусковые древесные отходы, определяются исходя из назначения и минимальных затрат энергии на измельчение древесины с одной стороны и обеспечения возможности полной механизации и автоматизации процессов топливоподачи – с другой.

Технологический процесс переработки кусковых отходов зависит от объёмов отходов, их вида, размеров и назначения щепы. На предприятиях лесного комплекса применяются: поточная, централизованная, специализированная и комбиниро-

ванная технологические схемы. Наиболее широкое распространение получила централизованная схема, которая предусматривает измельчение всех видов кусковых отходов на одной рубительной машине.

**Поточная схема** применяется на крупных лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях, при этом в каждой технологической цепочке основного производства устанавливается рубительная машина. **Специализированная схема** предусматривает измельчение каждого вида отходов в специальной рубительной машине.

При **комбинированной схеме** короткомерные отходы измельчаются на машине одного типа с наклонной загрузкой, а длинномерные – на машине с горизонтальной загрузкой.

Основным типом рубительных машин для измельчения кусковых отходов являются машины дисковые, в которых вырабатывается щепа лучшего качества. Разработана технологическая линия на основе поточной схемы с элементами комбинированной (рис. 74). Отходы поступают из цеха конвейером **1** или из накопителя **3** на загрузочный конвейер **2**. Над конвейером **2** смонтирован металлоискатель **4**, извлекающий металлические включения из отходов. Механизм подачи рубительной машины **5** состоит из горизонтального и наклонного патронеров. Мелкие отходы (длина менее 400 мм) проваливаются в окно и поступают в наклонный патронер, более длинные направляются в горизонтальный патронер. Полученная щепа через щепопровод поступает на сортировку. Из сортировки кондиционная щепа конвейером **7** направляется в бункер или на склад. Отсев щепы (мелкие и крупные фракции) подается конвейером **8** в скиповый погрузчик **9**.

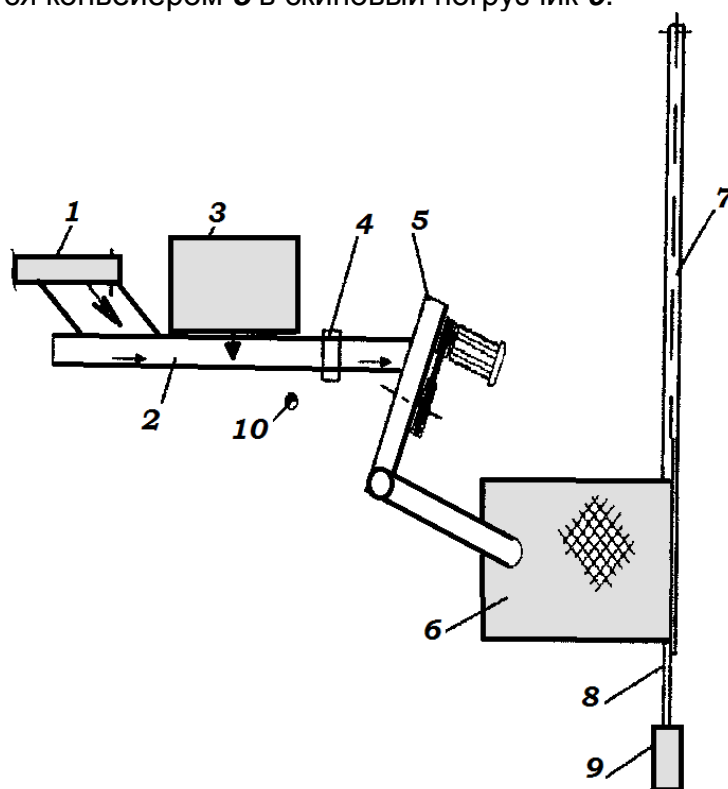


Рис. 74 – Технология переработки кусковых отходов:

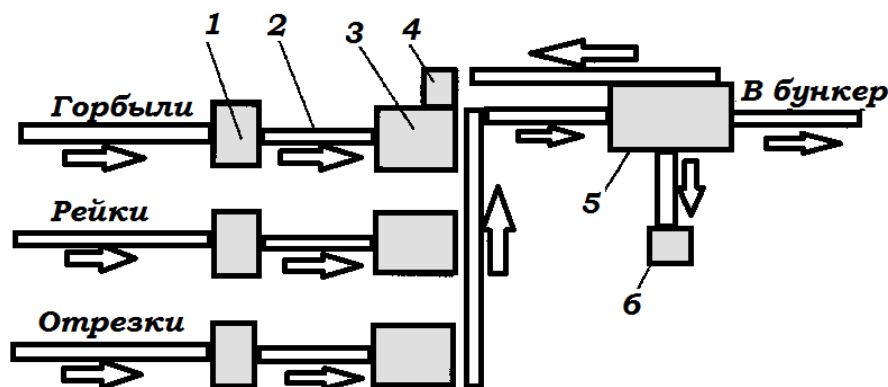
- 1 – ленточный конвейер; 2 – загрузочный конвейер; 3 – площадка-накопитель;
- 4 – металлоискатель; 5 – рубительная машина; 6 – сортировка щепы;
- 7 – конвейер подачи щепы на склад; 8 – конвейер удаления отсева щепы;
- 9 – скиповый погрузчик; 10 – пульт управления

Технология производства топливной щепы зависит от производства, на котором образуются древесные отходы.

### **1. Технология и оборудование для производства щепы из отходов деревообработки.**

При производстве пиломатериалов на нижнем лесоскладе образуются кусковые отходы в виде горбылей, реек или отрезков древесины. В этом случае целесообразно устройство специальных участков по переработке отходов в щепу. Одна из возможных технологических схемы переработки отходов деревообработки в щепу представлена на рис. 75.

Для подачи древесных отходов в рубительную машину и транспортировки выработанной щепы от рубительных машин на склады топлива или на отгрузку потребителям используются ленточные или скребковые конвейеры. Для измельчения кусковых отходов на топливную щепу используют рубительные машины различных модификаций.



*Рис. 75 – Технологические схемы переработки отходов деревообработки на щепу:*

- 1 – металлоискатель; 2 – конвейер ленточный;  
3 – рубительная машина; 4 – лоток для загрузки крупной щепы на доизмельчение;  
5 – сортировка щепы; 6 – бункер для сбора мелкой фракции и отсева

Для переработки длинномерных кусковых отходов лесоматериалов (горбылей и реек) используются дисковые рубительные машины с горизонтальными патронами; для переработки короткомерных кусковых отходов деревообрабатывающих производств используются дисковые рубительные машины с наклонными патронами, барабанные рубительные машины с горизонтальными патронами и вальцевым механизмом подачи.

### **2. Технология и оборудование для производства топливной щепы из отходов лесозаготовок.**

Количество отходов на лесосеках (без пней и корней) превышает 20 % объёма произрастающей на лесосеках ликвидной древесины. Кроме того предприятия бросают на лесосеках дровяную древесину, объём которой составляет в среднем по России 30 % заготавливаемой древесины. Дровяная древесина, оставляемая на лесосеках, также переходит в разряд лесосечных отходов.

Отходы, образующиеся на лесосеках, имеют самую различную форму и размеры: ветви, вершины, обломки стволов деревьев и даже целые стволы. Они беспорядочно перемешаны, имеют малую плотность и содержат большое количество различных примесей: коры, прутьев, древесной зелени и минеральных примесей. Все это создает технические и экономические трудности для их сбора и переработки, предъявляет особые требования к оборудованию для выполнения этих работ.

В процессе трелевки и погрузки тонкомерные деревья часто ломаются. При падении крупных деревьев на землю в процессе валки, особенно зимой, от них отламываются крупные сучья или части дерева. Поэтому значительную часть лесосечных отходов составляет стволовая древесина – обломки стволов, крупных сучьев и вершин деревьев. Для их сбора и переработки на щепу созданы системы машин.

Наиболее часто отходы перерабатываются на щепу с помощью передвижных рубительных машин, которые работают на площадках у лесовозных дорог или непосредственно на лесосеках. Имеют место случаи переработки лесосечных отходов на нижних (центральных) лесных складах или на перерабатывающих заводах.

Наиболее распространена технология переработки лесосечных отходов на площадке у дороги. При этом наиболее сложной и трудоемкой операцией является сбор лесосечных отходов на лесосеке и доставка их на площадку к лесовозной дороге.

Для сбора лесосечных отходов – обломков хлыстов создана система специальных машин. Наибольшее распространение получили подборщики-погрузчики манипуляторного типа на гусеничных (колесных) тракторах высокой проходимости, оборудованных кузовами для укладки собираемых отходов.

Для переработки лесосечных отходов, собранных на площадке у дороги, применяются прицепные или самоходные рубительные машины на тракторах или автомобилях. Рубительные машины оснащены гидроманипуляторами для подачи сырья в машину. Для переработки кусковых лесосечных отходов (обломков стволов, вершин) применяются, в основном, дисковые рубительные машины.

При рубках главного пользования в перестойных насаждениях образуются дрова, как было показано ранее, в объеме до 30 % общего объема заготавливаемой древесины. Промышленное использование дров заключается в их переработке на топливную щепу. Переработка дровяной древесины на щепу производится на стационарных технологических линиях, включающих эстакаду для создания запаса древесины, цепной продольный конвейер (бревнотаску), рубительную машину, накопительный бункер при транспортировке щепы на склад автотранспортом или пневмотранспортную установку. Для выработки топливной щепы из дров создан ряд стационарных дисковых рубительных машин с горизонтальным патроном, способных перерабатывать на щепу дрова диаметром в комле до 1180 мм. Диск рубительных машин оснащен резцами, расположенными по спирали.

При производстве щепы из сучьев деревьев используются два технологических процесса: производство щепы передвижными рубительными машинами на погрузочной площадке лесосеки и производство щепы из сучьев на нижнем складе леспромхоза при вывозке леса деревьями (с кроной). Расчёты показали, что себестоимость производства щепы из кроны деревьев на нижнем складе при вывозке леса деревьями в два раза ниже, чем на лесосеке с помощью передвижных рубительных машин. Объясняется это тем, что при заготовке и вывозке леса деревьями крона деревьев перерабатывается на щепу мощными рубительными машинами большой производительности и для концентрации отходов в месте переработки не требуется специальное оборудование, поскольку крона доставляется на нижние склады вместе со стволами деревьев.

Таким образом, уменьшения лесосечных отходов за счёт сокращения потерь кроны деревьев можно достичь путём внедрения технологии лесозаготовок, основанной на вывозке леса деревьями. Деревья грузятся и вывозятся на нижние склады лесозаготовительных предприятий теми же погрузчиками и лесовозными автопоездами, что и при вывозке хлыстов. При этом вывозе деревья на автопоезде обрабатываются путём обрезки выступающих за его габариты сучьев. За многолетний период функционирования технологии установлено, что объём сучьев, поступающих на нижний склад вместе со стволами, составляет 7,5 % объёма стволовой древесины.

## **Технология и производство древесных топливных гранул**

Получение готовой продукции из древесины сопряжено с огромными потерями, которые принято называть отходами. Отходы на этапе подготовки леса могут достигать нескольких десятков процентов (пни, сучья, хвоя и прочее). Типичное лесопильное предприятие превращает около 60 (в %) древесины в пиломатериалы и при этом 12 уходит в отпил, шесть – в концевые обрезки и 22 в горбыль и обрезки кромок. Объем опила и стружки на этапе деревообработки достигает 12 % от исходного сырья.

Страны с лесным потенциалом активно внедряли технологии сжигания опилок, щепы, и старой древесины. Очень быстро процесс прямого использования отходов лесопиления, деревообработки и переработки показал свои недостатки. Во-первых, для повышения эффективности сгорания опилки и щепа должны быть сухими, что требует дополнительных технологических процессов, инвестиций, производственных и складских площадей, немалых затрат энергии. Во-вторых, требовалась проблема складирования. Помимо необходимости больших складских площадей, свежие опилки и щепа при хранении зачастую самовоспламеняются.

Некоторой альтернативой прямого использования древесных отходов стало изготовление и применение топливных брикетов. В основу идеи была положена задача превратить «живое» сырьё в безопасную продукцию. Кроме того, решались проблемы повышения теплоты сгорания материала и уменьшения необходимых складских площадей. Во многом поставленные цели были достигнуты. Процесс сгорания брикетов стал проходить более эффективно и полно. Снизилось негативное влияние горения на окружающую среду. При хранении получаемый материал не самовоспламенялся. Увеличился коэффициент полезного действия котельных.

Более 20 лет назад баварец Руди Гуннерман, живущий в США, впервые произвел гранулы (пеллеты) из древесных отходов. Он использовал это для безотходности своего производства и экономии перевозок. Затем в США нашли применение гранулам в отоплении. В Европе первооткрывателем процесса гранулирования древесных отходов и использования их в отоплении считается Швеция. С начала 90 годов в Швеции начался бум и промышленное производство пеллет из древесины. Затем стремительное развитие получает изготовление древесных гранул в Канаде, Дании, Австрии, Голландии, Финляндии, Норвегии, Франции, Италии, Германии. С начала XXI века началось производство гранул в России. На сегодняшний день производство топливных гранул из отходов деревообработки – одна из самых перспективных технологий.

**Древесная топливная гранула** – это цилиндр, имеющий стандартные размеры, влажность, зольность и теплоту сгорания и полученный путём прессования из древесного сырья (или коры, или смеси древесины и коры) определённой фракции, отвечающего экологическим требованиям.

**Топливные гранулы (пеллеты)** – облагороженное (модифицированное) древесное топливо. Производят путём прессования сухой размолотой первичной или вторичной древесины или коры или их смеси в различных пропорциях. Диаметры гранул по стандартам различных стран колеблются от шести до 25 мм. В большинстве стран эти размеры приняты от 6 до 12 мм. Размеры частиц от менее 0,5 до 3,0 мм. Зольность древесных гранул от 0,4 %, корьевых до 6 % от массы абсолютно сухого сырья.

Можно сказать, что гранулы – это топливо, влага из которого удалена не в котлоагрегате в процессе сжигания, а на отдельном производстве которое обеспечивает однородность партий этого топлива по размерам влажности и теплоте сгорания.

У топливных гранул много положительных качеств, которые можно выделить с точки зрения экологии, экономики, задач решения социальных вопросов и даже с

точки зрения эстетики. Вот некоторые из них.

Для производства гранул не требуется специальных заготовок древесины. Использование древесных гранул для получения теплоты может значительно увеличить объём утилизации отходов, образующихся от лесозаготовок, лесопиления и деревообработки. Оно также снижает объём использования ископаемых топлив. Применение гранул в отопительных приборах требует меньше усилий, чем при использовании дров – ничего не надо колоть, сушить и выделять значительную площадь для хранения. Гранулы экологически безвредны. Использование гранул соответствует усилиям мирового сообщества по поддержанию высокого качества окружающей среды. Выброс вредных веществ при сжигании гранул крайне низок, поскольку они обладают очень низкой влажностью, а дозирующий механизм теплогенератора подаёт в зону горения объём топлива, строго соответствующий подаваемому объёму воздуха. Гранулы не вызывают аллергии, не дают пыли и дурного запаха. Гранулы занимают 1/3 от соответствующего им по теплоте сгорания объёма дров. При правильном хранении они не поддаются разложению, могут храниться длительное время.

Обладают сыпучестью, сравнимой с текучестью нефти и могут перевозиться в цистернах и подаваться пневмотранспортом. Полная автоматизация теплогенерирующих бытовых приборов позволяет загружать запас топлива на несколько дней. Полная автоматизация промышленных теплогенераторов при наличии диспетчеризации позволяет использовать их без обслуживающего персонала. Всегда будет существовать необходимость производства изделий из древесины, а, следовательно, всегда будет сырьё для производства гранул. Цена на древесные топливные гранулы прямо не зависит от колебаний цен на мировом рынке на традиционные энергоносители. Так, производство гранул даёт рабочие места.

**Технологическая схема производства топливных гранул-пеллет:** подача и складирование сырья – измельчение – сушка измельчённого сырья – гранулирование – охлаждение – упаковка.

Одним из этапов подготовки сырья к гранулированию служит его измельчение. Весь процесс направлен на измельчение фракций исходного сырья, с целью «облегчения» работы пресса-гранулятора. Чем меньше размер частиц древесины, попадающих во внутреннюю полость вращающейся матрицы камеры прессования, тем меньше сопротивление на двигатель и роликовый узел. Соответственно ресурс работы пресса увеличивается.

Сначала крупнокусковые отходы измельчаются до размера щепы в рубительных или валковых машинах. Щепа, как правило, подается в молотковую дробилку и уже в зависимости от диаметра отверстий сит приобретает окончательный размер.

Измельченное сырьё подается в сушильный барабан. Сушка проводится топочными газами, вырабатываемыми тепло-генератором. Температура агента сушки на входе в сушильный барабан до 400, на выходе – до 100 °С. Сырьё высушивается до влажности менее 15 %. Далее высушенный продукт по пневмотранспорту поступает в батарейный циклон, где происходит разделение высушенного материала и теплоносителя. Отработанный теплоноситель выбрасывается в атмосферу, а высушенный материал поступает на повторное измельчение.

Гранулирование предварительно измельченных древесных отходов происходит в пресс-грануляторах. На рис. 76 показан принцип работы пресс-гранулятора.

Современные прессы, как правило, имеют целый арсенал устройств, позволяющих их оптимально эксплуатировать. Это увлажнители (пар, вода), смесители, дозаторы, приборы контроля электрических параметров, схемы защиты от перегрузок и прочее. Непосредственно формирование гранул происходит после попа-



дания сырья между вращающейся матрицей и роликами.

При продавливании продукта через отверстия в матрице (фильеры) сырьё прессуется и приобретает необходимые геометрические размеры и плотность.

Сформировавшиеся гранулы приобретают нужную твёрдость только в процессе остывания. Чем грамотнее организован этот процесс, тем лучше качество продукта.

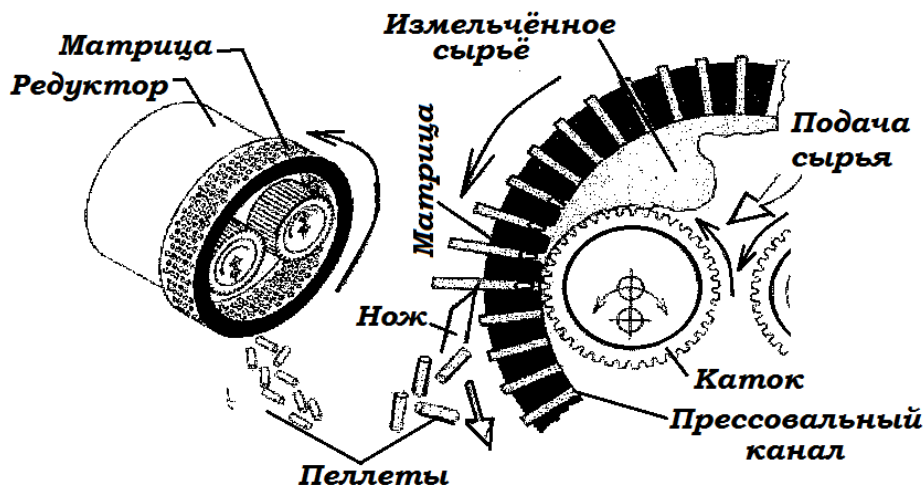


Рис. 76 – Принцип работы пресс-гранулятора

**1. Участок приёмки сырья – подача и складирование сырья.** Участок складирования сырья предназначен для размещения на нем сырья таким образом, чтобы обеспечить его своевременную и беспрепятственную подачу для дальнейшей переработки. В состав оборудования участка входят:

- сепарационная установка;
- транспортная система, (шнековая подача).

**2. Участок сушки и измельчения сырья.** Мелкие древесные отходы (опилки и стружки) подвозятся автотранспортом и (или) поступают от собственного производства и накапливаются на площадке или топливном складе. Со склада опилки подаются на сортировку. Мелкая фракция сразу отправляется в бункер сырья (при его отсутствии – на сушилку), а крупная фракция либо идёт на дробилку, либо попадает в отдельный контейнер для последующего сжигания. Из бункера сырьё подается транспортером на сушилку. Высушенные опилки засасываются в большой циклон за счёт разрежения, создаваемого дымососом.

В циклоне опилки осаждаются (отделяются от теплоносителя) и шлюзовым затвором дозированно подаются в распределитель потока, далее попадают в одну из двух молотковых дробилок, либо в обе одновременно. В дробилках происходит окончательное измельчение сырья. С этого момента его принято называть мукой. Из дробилок мука пневмотранспортом попадает в циклоны, где осаждаются (отделяется от воздуха). Из циклонов мука шлюзовыми затворами дозированно выгружается и шнековыми конвейером подается в бункер гранулятора. Из бункера мука подается шнековым питателем в смеситель пресса, сюда же подается пар либо вода. В смесителе происходит доведение влажности муки до уровня, необходимого для процесса гранулирования.

На современных технологических линиях процесс сушки и измельчения сырья производят в диспергаторах. Диспергатор позволяет одновременно совершать непрерывные процессы, необходимые для производства пеллет: измельчение и сушку щепы, опила, стружки и другого сырья до требуемого фракционного состава и содержания влажности.

Принцип действия аппарата основан на ударном воздействии ротора на

древесные отходы при интенсивном массо-воздухообмене, обеспечивающем сушку материала.

Производительность 500 кг/ч, 1000 кг/час, габариты 2000•1600•1600 мм. Преимущества аппарата перед молотковыми дробилками и барабанными сушилками следующие:

- в одной установке происходит сушка и измельчение;
- температура воздуха в аппарате не превышает 120 °С (в барабанной сушилке средняя температура достигает 280 °С);
- минимизация энергозатрат на сушку и измельчение; компактность (высота до трёх метров);
- пожаробезопасность.

**3. Участок гранулирования и охлаждения.** Из смесителя увлажненная мука через отделитель ферромагнитных примесей выводится в пресс – гранулятор. В грануляторе мука продавливается в радиальные отверстия матрицы, что приводит к формированию гранул. Выходящие из отверстий гранулы обламываются о неподвижный нож, падают вниз и выводятся из пресса. Гранулы, выходящие из пресса, имеют высокую температуру и непрочны, поэтому они транспортируются черпаковым подъёмником (норией) в охлаждающую колонку. Здесь через слой гранул вентилятором циклона всасывается воздух, который охлаждает гранулы и одновременно отсасывает часть несгранулированной муки в циклон. В процессе охлаждения влажность гранул уменьшается, в них происходят физико-химические изменения. В результате они приобретают необходимую твёрдость, влажность и температуру.

Из охлаждающей колонки гранулы поступают на сортировку, где происходит отделение кондиционных гранул от крошки. Гранулы подаются на норию (либо – конвейер) готовой продукции, а крошка идёт на повторное прессование.

**4. Участок упаковки готовой продукции.** Черпаковым подъёмником (норией) готовой продукции гранулы подаются непосредственно в мешок, либо в бункер готовой продукции. Под этим бункером расположены электронные весы. Заполненные мешки погрузчиком или гидравлической тележкой транспортируются на склад готовой продукции.

## **Технология производства топливных брикетов из древесных отходов**

Переработка древесных отходов в топливные брикеты решает многие проблемы, связанные со вторичной переработкой отходов древесины в процессе производства.

**Брикеты** – это спрессованные изделия цилиндрической, прямоугольной или любой другой формы. Их длина, обычно 100–300 мм, не должна превышать больше чем в пять раз их диаметр, который должен быть не меньше 25 мм, а обычно 60–75 мм.

В основе технологии производства древесных топливных брикетов лежит процесс прессования мелко измельченных отходов древесины (опилок) под высоким давлением при нагревании. Связующим элементом является лигнин, который содержится в клетках растений. Брикеты получают прямым прессованием на гидравлическом или механическом прессе. Кроме того, можно использовать метод шнекового прессования, когда продукция выходит непрерывно.

Спрос на топливные брикеты в странах Европы постоянно высокий и нет предпосылок к насыщению рынка. Существует мнение, что за рубежом спросом пользуются больше гранулы. Однако, спрос на топливные брикеты в Европе также постоянно высокий и цены на него непрерывно растут и они не меньше, чем за пеллеты. Брикеты, выполненные методом шнекового прессования, у потребителей

более предпочтительны.

Существуют общепризнанные европейские стандарты на топливные брикеты: **ONORM 7135** в Австрии; **DIN 5135** в Германии; **SS 18 71 21** в Швеции.

Оборудование для производства брикетов более простое и, естественно, менее дорогое, чем для производства пеллет. Прессы для производства брикетов при той же производительности на 30–50 % дешевле грануляторов. Самые лучшие показатели по удельным капитальным затратам дают шнековые прессы. Узкое место у прессы – это шнек, который в настоящее время после выработки около 50 тонн брикетов требует замены.

Требования к сырью при производстве брикетов менее высокие, чем пеллет. Не требуется дополнительный тонкий помол. Допускаются заметные примеси коры. Крупная стружка, отдельные кусочки длиной до 20 мм, кора – всё это не мешает работе прессы.

Брикет, полученный методом шнекового прессования, кроме высокой плотности ( $1,1\text{--}1,2 \text{ т/м}^3$ ) имеет упрочняющую корку на поверхности, которая уменьшает проникновение влаги в брикет.

При сушке сырья до необходимых 10–12 % влажности используются в качестве сырья, в основном, древесные отходы. Иногда используется мазут (итальянские установки), дизельное топливо (установки восточной Европы), керосин (японские установки). Древесные отходы, безусловно, экономически наиболее привлекательны как топливо. Теплогенераторы, работающие на древесных отходах, могут иметь две принципиальные схемы: дымовые газы попадают прямо в отделение сушки и дымовые газы проходят через теплообменник и в отделение сушки попадает чистый нагретый воздух. Каждая из этих схем имеет и плюсы и минусы.

При прямой подаче топочных газов в сушильное отделение между газом и высушиваемым материалом возникает большая разность температур, что повышает эффективность сушки. Но, высокая температура создает опасность пожара. Дымовые газы, охлаждаясь, оставляют много сажи, что повышает остаточную зольность сырья. Некоторые европейские стандарты требуют, чтобы зольность не превышала одного процента. Использование такой схемы требует принимать серьезные меры к предотвращению возгорания опилок. При прохождении дымовых газов через теплообменник проблемы возгорания опилок практически нет. Нет осаждения сажи, но, температуру, выше 150 °С, на входе в сушильное отделение поднять нельзя.

На рис. 77 приведена технологическая линия брикетирования, которую можно разделить на два участка: подготовки сырья и брикетирования.

**Участок подготовки сырья.** Отходы в виде обрезки, сучьев, коры и прочего материала подаются в рубительную машину **1**, из рубительной машины полученная щепа конвейером **2** подаётся в установку переработки щепы **3**. Полученная стружка поступает в бункер скребкового конвейера **4**. Опилки и стружка могут подаваться в бункер сразу, минуя рубительную машину. Разрубленные отходы наклонным скребковым конвейером **5** загружаются в расходный бункер **6**, откуда конвейером-дозатором **7** перемещаются в дробилку **8**. Измельченная масса шнековым конвейером **9** подаётся в сушилку **10**. Продвигаясь по барабану, высушиваемая масса продувается горячим воздухом, нагреваемым твёрдотопливным теплогенератором **15**.

**Участок брикетирования.** Высушенная масса по материалопроводу **11** попадает в циклон-отделитель **12**, где отделяется от воздуха, и шнековым конвейером **14** подается в установку брикетирования отходов **16**. Брикетная штанга распиливается на брикеты требуемой длины и термоусадочным аппаратом **17** упаковывается в полиэтиленовую пленку. Воздух через сушилку и циклон продувается вентилятором **13**.

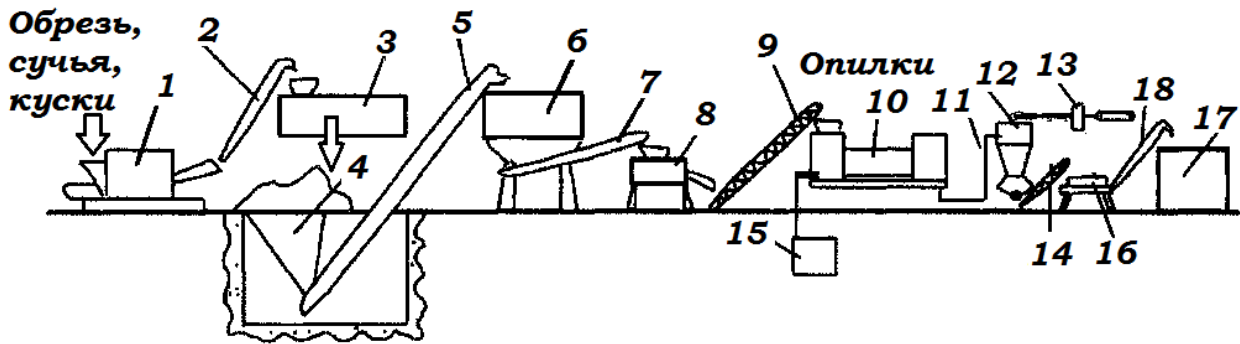


Рис. 77 – Технологическая линия брикетирования древесных отходов:  
 1 – машина рубительная; 2 – сребковый конвейер; 3 – установка переработки щепы; 4 – бункер скребкового конвейера; 5, 7 и 18 – скребковые конвейеры;  
 6 – расходный бункер; 8 – дробилка молотковая; 9 и 14 – шнековые конвейеры;  
 10 – сушилка; 11 – материалопровод; 12 – циклон; 13 – воздуходувка;  
 15 – твёрдотопливный теплогенератор; 16 – установка брикетирования отходов; 17 – термоусадочный упаковочный аппарат (весовой дозатор)

### Сжигание древесного топлива

Особенности горения древесного топлива определяются составом рабочей массы и другими факторами. Характеристики горючей массы различных видов древесины и отходов её переработки отличаются незначительно. Усреднённые характеристики древесных отходов зависят от вида древесины и технологии их образования. Главные факторы, затрудняющие использование в энергетике отходов переработки древесины – это высокая влажность и неоднородный гранулометрический состав. Для щепы и отходов лесопиления влажность рабочей массы  $W$  – 40–52 %. Влажность гидролизного лигнина в зависимости от технологических особенностей варки изменяется от 50 до 75 %. Отходы мокрой окорки имеют исходную влажность рабочей массы  $W$  – 70–85 %, а после отжима – 50–60 %. При сухой окорке  $W$  – 40–45 %.

Высокое влагосодержание древесных отходов объясняется как специфичностью материала, так и условиями транспортировки (сплав, сортировка в водном бассейне), и методами обработки (мокрая или сухая окорка). Повышенное содержание внешней влаги снижает подвижность частиц топлива вплоть до полной потери ими сыпучести, что ведёт к значительным проблемам при их транспортировке по тракту топливоподачи.

В процессе сжигания твёрдого топлива различают следующие стадии: удаление влаги (сушка), нагрев и выход летучих, воспламенение и горение летучих, воспламенение и горение кокса. Стадии протекают как последовательно, так и параллельно. При нагревании, вследствие термического воздействия, твердое топливо разлагается на газообразные (летучие) составляющие и кокс. Объём летучих определяется в процентах на горючую массу.

### Способы сжигания и основные типы топочных устройств

Топочным процессом называют способ сжигания топлива, реализованный в топочной камере, при котором осуществляются непрерывное и регулируемое горение топлива в определённом объёме и своевременное удаление из этого объёма очаговых остатков (золы и шлака). В современной топочной технике применяются пять основных способов сжигания древесных отходов: слоевой, факельный, вихревой, циклонный и в кипящем слое.

**Слоевой способ** сжигания является самым старым и получил наибольшее распространение. Сущность слоевого способа сжигания заключается в том, что воздух непрерывно продувается через слой горящего кускового топлива, лежащего на колосниковой решетке, взаимодействует с ним, в результате чего образуются высокотемпературные дымовые газы, зола и шлак. Поверхности нагрева топочной камеры воспринимают теплоту, излучаемую раскаленными частицами топлива и очаговым остатком, а также пламенем, возникающим при сгорании горючих газов, выходящих из слоя топлива. Значительно меньшее количество теплоты передается поверхностям нагрева топочной камеры за счёт конвекции при их омывании дымовыми газами. Зола и шлак удаляются из зоны горения либо вручную, либо посредством механического устройства того или иного типа.

По режиму подачи топлива в слой различают топочные устройства с периодической и непрерывной загрузкой топлива. Характер подачи топлива в топку оказывает решающее влияние на показатели работы топочного устройства.

По организации тепловой подготовки и воспламенения топлива в слое различают топки с нижним, верхним и смешанным воспламенением. По сочетанию направлений движения газоздушного и топливно-шлакового потоков различают следующие схемы: встречные, параллельные, поперечные и смешанные.

Пространство в слоевом топочном устройстве, где происходит взаимодействие топлива с воздухом и продуктами сгорания, называют активной зоной или зоной горения. Активная зона в топке состоит из кислородной зоны, зоны восстановления, зоны выхода летучих веществ и сушки топлива. Для горящего слоя топлива, неподвижно лежащего на колосниковой решётке, при верхней загрузке топлива сверху находится свежее топливо (рис. 78). Под ним располагается горящий кокс, а над колосниковой решёткой слой шлака и золы (встречная схема с нижним воспламенением). Зоны в слое топлива частично перекрывают друг друга.

По мере выгорания топливо постепенно проходит все зоны. В первый период после поступления свежего топлива на горящий кокс происходит его тепловая подготовка (прогрев, испарение влаги, выделение летучих веществ), на что расходуются часть выделяющейся в слое теплоты. Область наиболее высокой температуры располагается в зоне горения кокса, где выделяется основное количество теплоты.

Образующиеся при горении топлива зола и шлак стекают с раскалённых кусочков кокса навстречу воздушному потоку, при этом постепенно охлаждаются и в твердом состоянии достигают колосниковой решётки, откуда они удаляются. Очаговые остатки, находящиеся на решетке, защищают её от перегрева, а также обеспечивают подогрев и равномерное распределение первичного воздуха по площади колосниковой решётки.

В нижней части слоя (рис. 78), где происходит интенсивное расходование кислорода в ходе протекания гетерогенных экзотермических реакций находится кислородная зона.

В кислородной зоне образуется как диоксид, так и оксид углерода, к её концу концентрация кислорода снижается до одного – двух процентов, а концентрация диоксида углерода и температура слоя достигают максимальных значений. Если по технологии сжигания высота слоя топлива больше протяженности кислородной зоны, то над ней располагается зона восстановления. Протяженность кислородной зоны по высоте слоя не зависит от скорости воздушного дутья и определяется размером кусков топлива и его природой.

Восстановительная зона – это пространство, в котором ввиду отсутствия кислорода происходит взаимодействие диоксида углерода с поверхностью раскаленного топлива, в результате чего в продуктах сгорания увеличивается содержание оксида углерода.

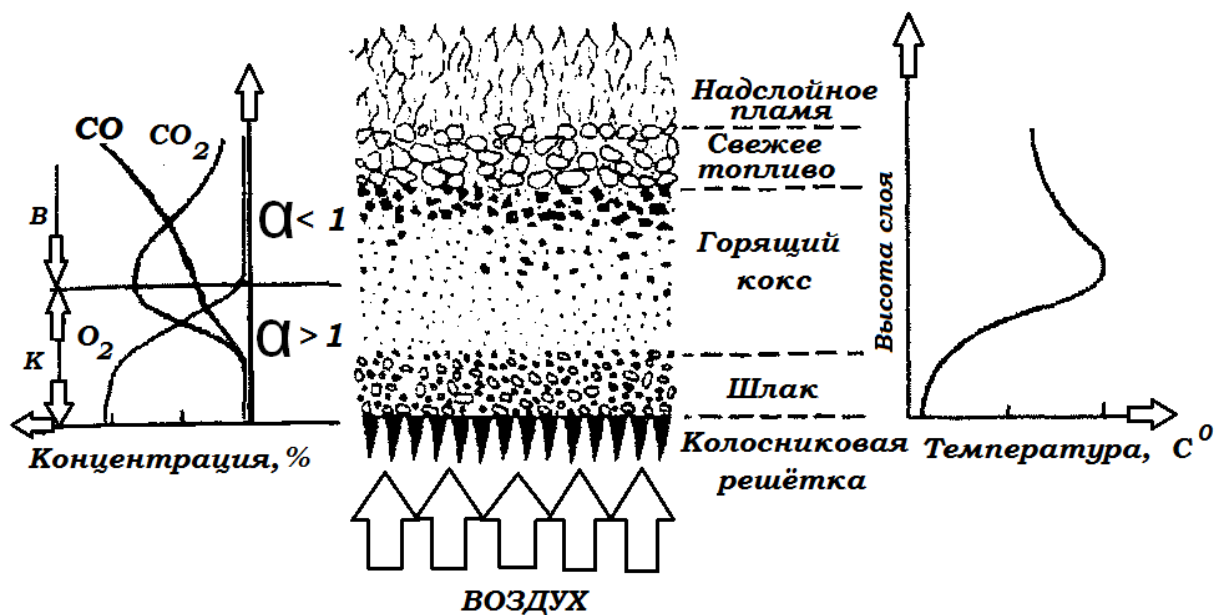


Рис. 78 – Структура горящего слоя твёрдого топлива

Преимуществами слоевого процесса сжигания твёрдого топлива служат:

1. Возможность сжигания древесной биомассы с широким диапазоном изменения размеров частиц;
2. Простота устройств для механизации подачи топлива в зону горения;
3. Возможность применения максимально простых схем автоматизации работы топочного устройства;
4. Минимальные затраты на подготовку топлива.

При слоевом сжигании частицы топлива, находящиеся в слое, сцеплены друг с другом, и скорость их омыwania воздухом и продуктами сгорания равна скорости движения газов по каналам, образованным зазорами между частицами. Максимальная допустимая скорость газовых компонентов при движении их через слой топлива лимитирована недопустимостью выноса из слоя мелких частиц с последующим образованием прогаров («кратеров») в слое топлива.

При «кратерном» режиме горения большая часть первичного воздуха не активно участвует в горении, проходя по пути с наименьшим сопротивлением (через зоны «кратеров»), кроме этого значительно повышается содержание горючих веществ в летучей золе и в очаговых остатках, покидающих колосниковую решётку.

Эти особенности вызывают значительное снижение технико-экономических и экологических показателей работы котельной установки, кроме этого резко возрастает опасность локального пережога решётки из-за ухудшения условий её охлаждения. Также возрастает риск спекания очаговых остатков в крупные агломераты, ухудшающие условия работы системы золо- и шлакоудаления.

Из недостатков слоевого процесса сжигания топлива выделяются:

- необходимость в громоздкой колосниковой решётке, не вписывающейся при большой мощности в габариты котлоагрегата;
- возникновение, в некоторых случаях, прогаров слоя и «кратерного» горения, что лимитирует допустимое тепловое напряжение колосниковых решёток и соответственно ограничивает мощность установок.

**Факельный процесс сжигания** пылевидного топлива состоит в том, что пылевоздушная смесь подаётся через горелку в топочную камеру, где топливо сгорает во взвешенном состоянии в основном на первой трети длины прямооточного факела, имеющего в этой зоне высокотемпературное ядро с температурами до 0,8 – 0,9 от адиабатической (температуры горения без отвода теплоты). Догорание

крупных фракций топлива в топках с прямоточным факелом происходит на восходящем участке факела в условиях пониженных концентраций кислорода и температуры газов. Для достижения требуемой полноты выгорания топлива, а также охлаждения газов до температуры, безопасной по условиям шлакования конвективных поверхностей нагрева, приходится увеличивать размеры топочной камеры, прежде всего высоту.

В настоящее время данный метод сжигания самый распространённый в отечественной и мировой энергетике, но он требует тонкого размола топлива в относительно дорогих, сложных в эксплуатации и ремонте, взрывоопасных для окружающей среды системах пылеприготовления. Факельный метод сжигания имеет достаточно большое число модификаций, определяемых, прежде всего, характеристиками топлива и в меньшей степени конструктивными особенностями и компоновочными решениями котельных агрегатов. Он позволил создать современную высокоэкономичную и в целом надёжную энергетическую систему. Однако для древесных отходов, без их дополнительного измельчения, факельный процесс сжигания пригоден только для ДШП и опилок с линий обрезки фанерного производства.

Особенностью факельного процесса является «незначительный» запас топлива в топочной камере, что делает процесс горения малоустойчивым и весьма чувствительным к изменению режима и характеристик топлива. Регулирование мощности топочного устройства осуществляется одновременным изменением количества подаваемого в топку топлива и воздуха. Тонкий помол твердого топлива предопределяет повышенную взрывоопасность систем пылеприготовления и всего котлоагрегата. При нормальных режимах эксплуатации систем пылеприготовления вероятность возникновения хлопка или взрыва в системе невелика, однако, при переходных режимах, особенно при пусках из горячего резерва, опасность резко возрастает.

**Вихревой процесс сжигания** твёрдого топлива заключается в том, что внутри объёма топки создается устойчивое вихревое вращательное движение газовой смеси и частиц топлива, которые движутся по круговым или петлевым траекториям, находясь во взвешенном состоянии, и сгорают в топочном объёме. Большая скорость движения частиц и их развитая поверхность создают условия для ускоренного протекания процессов прогрева, сушки, выхода летучих веществ и сгорания частиц, движущихся в топочном объёме. Для дожигания крупных частиц вихревые топки иногда снабжаются дожигательными решётками.

Вихревое движение газовой смеси и топливных частиц достигается соответствующим подводом топливно-воздушного потока и воздушного дутья, а также отводом продуктов горения. Оно организуется так, что наиболее крупные частицы топлива периодически попадают в области с повышенным содержанием окислителя, где газоздушная смесь или воздух движутся с большой скоростью, вовлекая топливные частицы в многократную циркуляцию.

Этот цикл повторяется до тех пор, пока частицы топлива полностью не выгорят или не достигнут размеров, при которых происходит их вынос из вихревого потока. При сжигании топлива во взвешенном состоянии необходимо учитывать, что интенсивность тепло- и массообмена между газовой средой и поверхностью топливных частиц определяется не абсолютной скоростью их движения, а относительной скоростью движения частиц относительно газового потока.

При вихревом сжигании топлива не требуется его тонкого измельчения. Вихревой процесс обеспечивает возможность сжигания даже немолотых топлив: опилок, стружки, гидролизного лигнина, фрезерного торфа и даже некоторых бурых и каменных углей.

В отличие от слоевого способа сжигания изменение теплопроизводительности вихревой топки связано с необходимостью регулирования ко-

личества воздуха и топлива, подаваемых в топочную камеру, что усложняет систему её автоматизации.

**Циклонный процесс сжигания** топлива по своему принципу подобен вихревому и отличается тем, что объёму топочной камеры придается цилиндрическая форма, и подвод воздуха осуществляется по касательной к поверхности внутреннего объёма топки.

### **Слоевой способ**

Для сжигания древесного топлива на предприятиях лесопромышленного комплекса наибольшее распространение получили топки со слоевым способом сжигания. Конструкции этих топочных устройств наиболее просты, надежны в эксплуатации и могут быть приспособлены к изменяющимся гранулометрическому составу и влажности древесного топлива. Топки слоевого типа хорошо подходят для автоматизированных котельных. Существуют различные принципы организации слоевого процесса:

- в горизонтальном слое;
- в наклонном слое;
- с комбинацией наклонного и горизонтального слоёв;
- в вертикальном слое;
- в зажатом слое.

Сжигание древесного топлива в горизонтальном слое на колосниковой решётке служит наиболее старым принципом организации сжигания кусковых древесных отходов и дров. По этому принципу работают ручные топки для дров и кусковых отходов. Загрузка древесного топлива на колосниковую решётку при ручном обслуживании – это трудоемкая операция, связанная с тяжёлым трудом.

Механизация загрузки мелкого древесного топлива на горизонтальную решётку требует применения механических питателей сложной конструкции. Высота слоя древесного топлива на горизонтальной решетке при работе топки изменяется, что затрудняет её обслуживание. Сжигание древесного топлива на горизонтальных решетках применяется в настоящее время только в топках котлов малой мощности и при печном отоплении жилого фонда, где в качестве топлива обычно используются дрова.

Простейшей топкой для сжигания дров является ручная топка с горизонтальной колосниковой решеткой (рис. 79), которая предназначена для чугунных секционных котлов и представляет собой четырёхугольную кирпичную камеру, футерованную изнутри огнеупорным кирпичом. В нижней части камеры установлена горизонтальная колосниковая решетка из чугунных колосников, разделяющих камеру на зольное и топочное пространство.

Высота слоя топлива в топке составляет 0,8–1,0 м. При загрузке дров колосниковая решётка воспринимает удары от падающих на нее поленьев, поэтому применяемые колосники должны обладать необходимой прочностью. Обычно применяют брусчатые колосники длиной до 0,7 м с зазорами 20–25 мм. Воздух для горения дров подводится через воздухопровод под колосниковую решётку.

Недостатки таких топок: ручная загрузка дров и выгрузка золы и шлака из топки; изменяющаяся высота слоя ввиду периодической загрузки дров в топку, что приводит к увеличению коэффициента избытка воздуха и потери теплоты с уходящими газами при снижении высоты слоя и к повышению химической неполноты сгорания при увеличении высоты слоя.



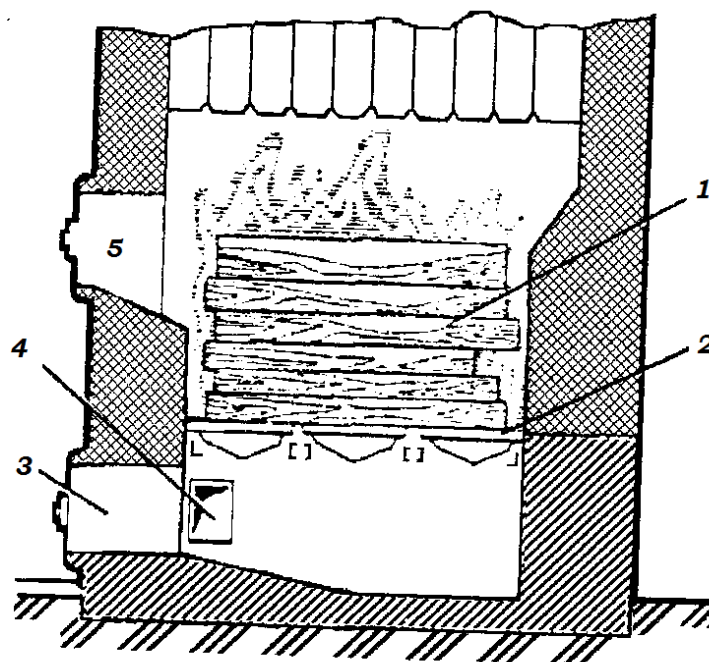


Рис. 79 – Ручная топка для дров с горизонтальной колосниковой решёткой:  
 1 – слой топлива; 2 – колосниковая решётка; 3 – зольниковый люк;  
 4 – воздухопровод; 5 – загрузочная дверца

Регулирование производительности таких топков осуществляется изменением расхода воздуха, подаваемого под колосниковую решётку.

**Сжигание топлива в вертикальном слое** служит более совершенным принципом организации слоевого процесса. Впервые он был внедрён в практику К.В. Киршем, который разработал топочное устройство с вертикальным зеркалом горения для сжигания высоковлажных дров (рис. 80).

Топка состоит из вертикальной, выполненной из огнеупорного кирпича шахты 3, в нижней части которой установлена горизонтальная колосниковая решётка 6, а в задней стене выполнено окно 10. Боковые заплечики, образованные за счёт меньшей, чем ширина топки, ширины окна, обеспечивают вертикальное перемещение поленьев в шахте по мере их сгорания в зоне колосниковой решетки. Первичный воздух под колосниковую решётку 6, которая расположена ниже нижнего края окна 10, подводится через люк 5. Заглубление решетки позволяет создать горячую зону высотой  $h$ , в которой происходит процесс газификации древесного угля при сухом топливе и древесины при влажном топливе. Высокотемпературные продукты газификации проходят через вышележащий слой топлива, обеспечивая его интенсивную подсушку, а затем поступают в топочную камеру, куда через окно 7 подается вторичный воздух для их эффективного сгорания. Чем выше влажность сжигаемого топлива, тем больше должна быть заглублена колосниковая решётка, то есть тем больше должна быть высота  $k$ .

Для облегчения загрузки дров в верхней части шахты установлено загрузочное устройство 1. Удаление шлака с колосниковой решётки проводится через люк 4, а золы из-под нее – через люк 5. Удаление золы из топочной камеры осуществляется через люк 8. Размеры слоя топлива при сжигании древесины по этому принципу стабильны по времени; при загрузке топлива, в отличие от топков с горизонтальным слоем, холодный воздух не поступает в топочное пространство; трудоёмкость загрузки топлива ниже. Основной недостаток таких топков – неодинаковая толщина слоя топлива, который должны преодолеть воздух и продукты горения при движении от колосниковой решетки до зеркала горения.

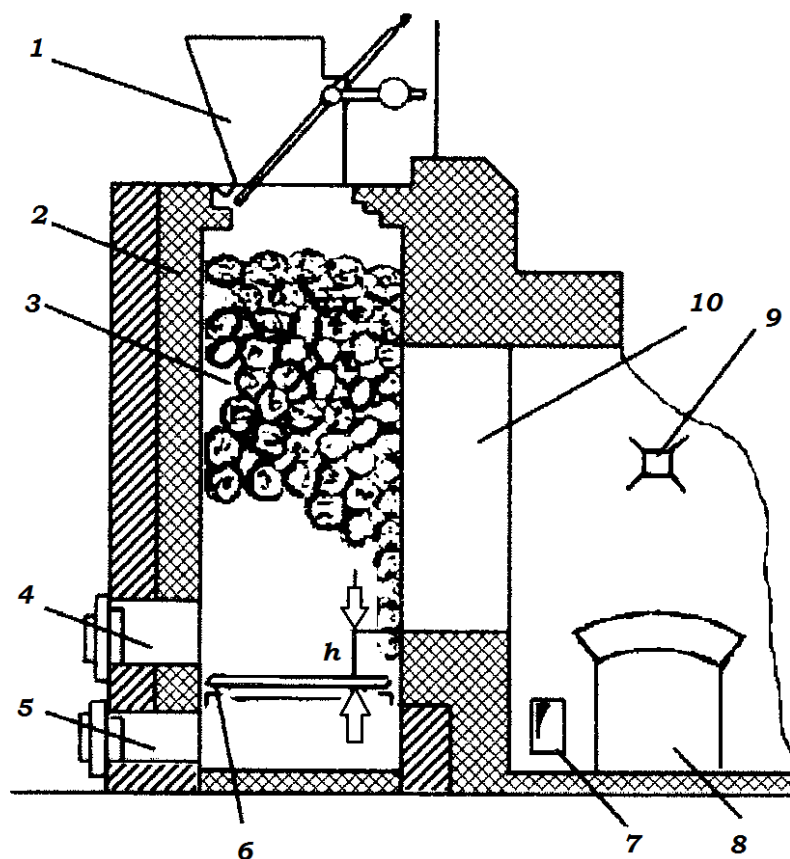


Рис. 80 – Топка для дров с вертикальным слоем:

- 1 – загрузочное устройство; 2 – обмуровка; 3 – шахта; 4 – шлаковый люк;  
 5 – люк; 6 – колосниковая решётка; 7 – подвод вторичного воздуха;  
 8 – зольниковый люк; 9 – гляделка; 10 – окно задней стенки топки

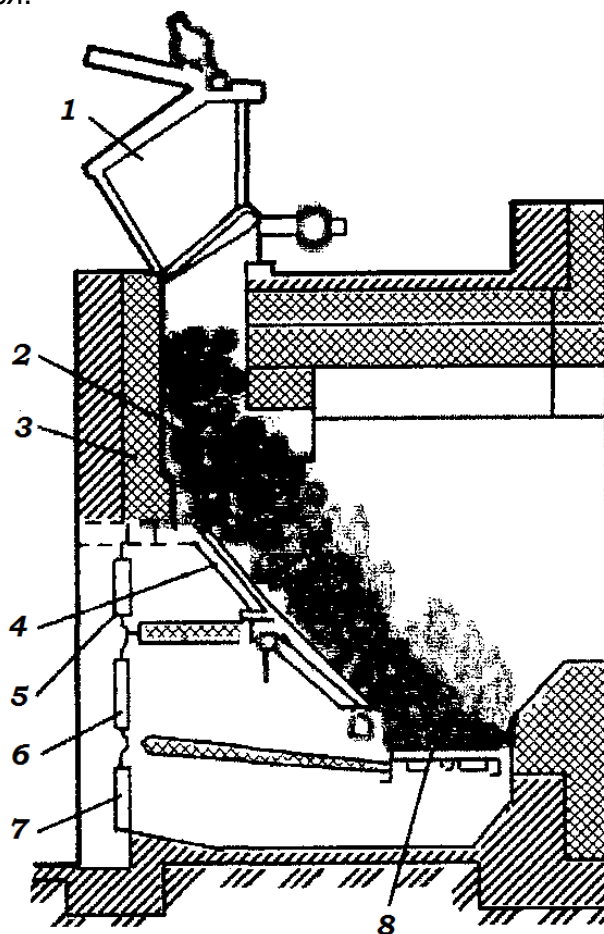
Топки с вертикальным слоем целесообразно применять для сжигания дров и древесных отходов, обладающих малой сыпучестью и склонностью к сводообразованию. Сжигание опилок в топках с вертикальным слоем затруднено.

**Сжигание топлива в наклонном слое** служит наиболее совершенным и распространенным принципом организации слоевого процесса, при этом с помощью конструктивных приемов обеспечивается постоянная толщина слоя топлива и одинаковые условия для прохода воздуха и продуктов сгорания через слой по всей площади колосниковой решётки.

В топках с наклонным слоем возможно применение эффективных средств регулирования толщины слоя в соответствии с видом сжигаемого топлива. Топочные устройства с наклонным слоем обеспечивают возможность сжигания древесного топлива с широким диапазоном изменения гранулометрического состава, начиная от опилок и кончая крупнокусковыми отходами и дровами.

Для сжигания дров широко используются шахтные топки с наклонным слоем топлива. **Шахтная топка с наклонным зеркалом горения** (рис. 81) представляет собой футерованную шахту, в нижней части которой расположены наклонная 4 и горизонтальная 8 колосниковые решётки. Воздух для горения дров подводится по зонно через дверцы люков, расположенных на фронтальной стене, что позволяет регулировать процесс горения в зависимости от влажности топлива. Достоинство топок – стабильная толщина слоя топлива по длине решётки за счёт постоянно заполненной топливом шахты, что обеспечивает равномерное и полное сжигание топлива при малых значениях потерь теплоты с химической неполнотой сгорания. Производительность топки регулируется изменением расхода воздуха, проходя-

щего через колосниковые решетки, и степени открытия регулирующих задвижек (шиберов) газового тракта котла для обеспечения оптимального разрежения в топке. При сжигании влажных дров расход воздуха, проходящего через наклонную решётку, уменьшается.



*Рис. 81 – Шахтная топка с наклонным слоем для сжигания дров:*  
 1 – загрузочное устройство; 2 – слой топлива; 3 – обмуровка; 4 – наклонная колосниковая решётка; 5, 6 и 7 – дверцы; 8 – горизонтальная колосниковая решётка

Топки с наклонным слоем топлива (шахтные топки) широко используются и для сжигания мелкого древесного топлива. Топочные устройства этого типа можно подразделить на следующие три вида:

- со ступенчатой колосниковой решёткой;
- с брусчатыми беспровальными колосниками;
- с накладными беспровальными колосниками.

### **Факельный способ**

В настоящее время факельный способ сжигания – самый распространённый. Он позволил успешно решить многие проблемы сжигания твёрдых топлив и создать современную высокоэкономичную и надёжную энергетику.

Факельный способ используется, в частности, для сжигания лигнина, образующегося в технологическом цикле гидролизного производства. Лигнин является многотоннажным отходом. Он представляет собой твёрдый остаток, образующийся после обработки древесины или растительных сельскохозяйственных отходов 0,5–1,0 % раствором серной кислоты по методу перколяции через слой материала при температуре 180–190 °С и давлении 1,2–1,5 МПа в аппаратах периодического или

непрерывного действия. Гидролизный лигнин, как энергетическое топливо, относится к высоковлажным, низкокалорийным, высокорекреационным и трудноиспользуемым топливам с резкопеременными свойствами. При сжигании гидролизного лигнина в топках котлов по схеме прямооточного факела для его подсушки и измельчения обычно применяются полуразомкнутые системы пылеприготовления с газовой сушкой и мельницами-вентиляторами (рис. 82).

Лигнин из топливного бункера **1** с помощью питателя **2** подается в сушильную шахту **3**, где проходит первую стадию сушки дымовыми газами с температурой 900–1000 °С, забираемыми из верхней части топочной камеры за счёт разрежения, создаваемого мельницей-вентилятором (МВ) **4**.

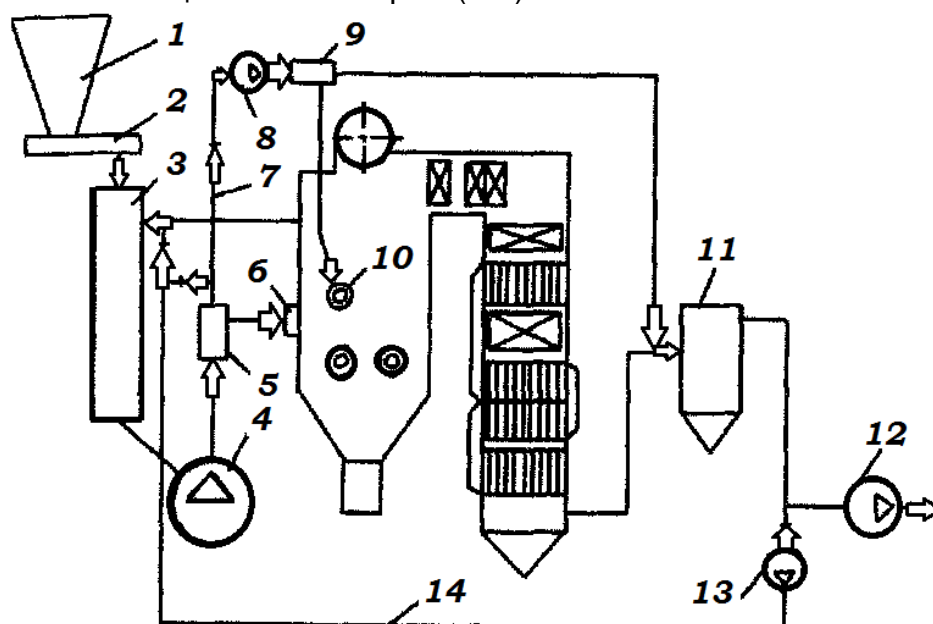


Рис. 82 – Схема подготовки и сжигания гидролизного лигнина в котлоагрегате Е-75-40:

- 1** – бункер сырого топлива; **2** – питатель; **3** – сушильная шахта;
- 4** – мельница-вентилятор; **5, 9** – пылеконцентраторы 1 и 2 ступени;
- 6, 10** – лигнинные основные и сбросные горелки; **7** – пылепровод;
- 8** – эксгаустер; **11** – золоуловитель; **12** – основной дымосос;
- 13** – дымосос рециркуляции; **14** – трубопровод рециркуляции

Размолотый и подсушенный в МВ лигнин в виде пылегазовой смеси поступает в пылеконцентратор первой ступени **5**. Аксиальный закручивающий аппарат пылеконцентратора отделяет большую часть топливной пыли 90 – 98 %, которая с небольшим количеством (четыре – шесть процентов) отработанного сушильного агента поступает в основные горелки **6**. Оставшаяся пыль, за счёт разрежения, создаваемого эксгаустером **8**, транспортируется газовым потоком по пылепроводу **7** и поступает в пылеконцентратор второй ступени **9**, из которого по тече с частью сушильного агента – в сбросную горелку **10**. Основное количество отработанного сушильного агента направляется в газовый тракт котлоагрегата до золоуловителя **11**.

Для повышения безопасности работы пылесистемы при пусках, остановках и аварийных ситуациях предусмотрена подача с помощью дымососа рециркуляции **13** уходящих газов котлоагрегата по трубопроводу **14** в сушильную шахту и в нагнетательный тракт за пылеконцентратором первой ступени. С целью предотвращения повышения температуры газов за мельницей свыше 170 °С и за пылеконцентратором второй ступени более 160 °С имеется автоматический впрыск воды соответственно в сушильную шахту и пылепровод перед эксгаустером.

## Вихревой способ

Принцип вихревого сжигания основан на организации многократной циркуляции топливных частиц по круговым или петлевым траекториям в объёме топочной камеры. Вихревое движение создается за счёт аэродинамических и конструктивных методов. Наиболее эффективны вихревые топки для сжигания топлив с высоким выходом летучих веществ при их угрублённом гранулометрическом составе. В России вихревые топочные устройства широко используются для сжигания фрезерного торфа, опилок, стружек и другого топлива.

К числу наиболее известных вихревых топок относится топка ЦКТИ системы А.А. Шершнева (рис. 83). Топливо из расходного бункера **1** питателем **2** через течку **3** подаётся в вихревую топку **4**, в которую снизу через сопло **7** вдоль профилированной фронтальной стены вводится поток горячего воздуха навстречу падающим частицам топлива.

В топочной камере за счёт встречно-параллельного движения потоков и конфигурации фронтальной стены создаётся вихревой поток, в котором мелкие частицы топлива подсушиваются, воспламеняются, частично выгорают и выносятся в камеру **10**, где завершается процесс горения. Крупные частицы топлива сепарируются из вихревого потока и попадают на колосниковую решётку **5**, под которую через короб **6** подаётся воздух для их догорания.

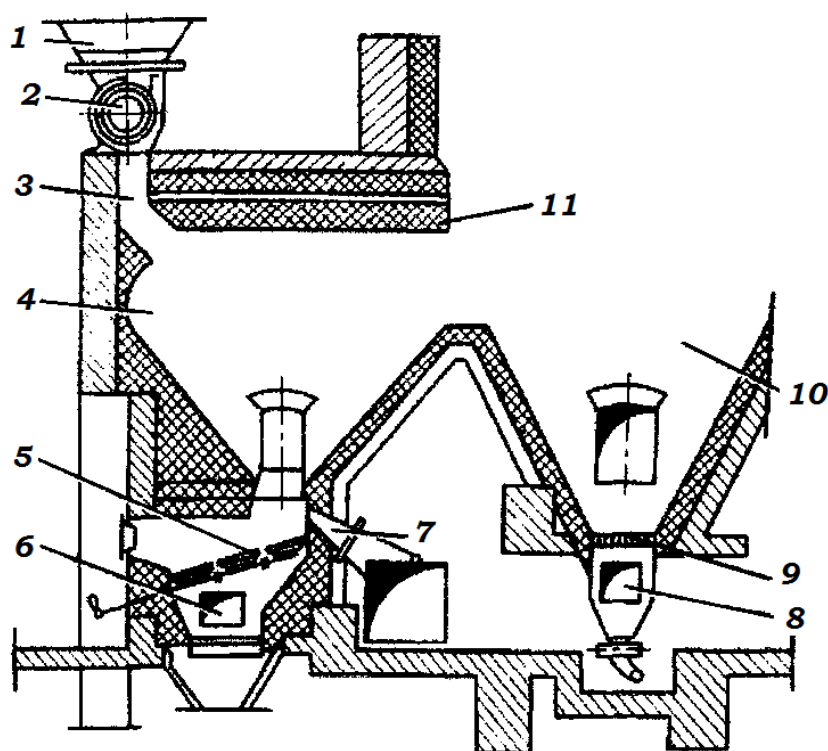


Рис. 83 – Вихревая топка ЦКТИ системы Шершнева:

- 1** – расходный бункер; **2** – питатель; **3** – течка; **4** – вихревая топка;  
**5, 9** – колосниковые дожигательные решётки; **6, 8** – ввод вторичного воздуха;  
**7** – сопло; **10** – дожигательная камера; **11** – свод

Крупные частицы, вынесенные из вихревой камеры в камеру **10**, сепарируют из газового потока и выпадают на колосниковую решётку **9**, под которую через короб **8** подаётся вторичный воздух.

До 70 % воздуха необходимого для сгорания топлива вводится в топочную камеру через сопла нижнего дутья со скоростью 30–40 м/с, а оставшаяся часть – под дожигательные колосниковые решётки.

Применение топок А.А. Шершнева ограничивается котлоагрегатами паропроизводительностью не более 30 т/ч, кроме этого опыт эксплуатации показал, что они обладают узким диапазоном устойчивой работы по влажности топлива. При повышении влажности торфа более 52–55 % наблюдался резкий рост пульсаций в топочной камере и потеря теплоты с механической неполнотой сгорания, при снижении влажности появлялось шлакование стен топки.

Не удалось в полной мере реализовать достоинства вихревого процесса и в топках с пересекающимися струями, где основным процесс оказался прямоточным и только на стыке пересекающихся струй создаются условия для возврата части топлива в вихрь, который, как и в топке А.А. Шершнева, оказался недостаточно загружен горящим топливом.

Вихревая топка должна обеспечивать многократную циркуляцию топливных частиц и потока газа, а также возможность работы на груборазмолом топливе. Легче всего создать такие циркуляционные потоки за счёт соответствующей конфигурации топочной камеры и системы подачи в неё газоздушных потоков. Одним из примеров создания такой циркуляции при комбинированном использовании двух способов сжигания (слоевого и вихревого) служит: топка скоростного горения с вихревой стенкой и топка скоростного горения с системой вихревых потоков с вертикальными осями вращения.

### **Циклонный способ**

Циклонный процесс для организации сжигания топлива во взвешенном состоянии был предложен Г.Ф. Кнорре. Сущность циклонного процесса заключается в том, что сжигание топлива локализуется в цилиндрической топочной камере, где посредством подвода воздуха тангенциально к внутренней поверхности камеры создается интенсивное вращательное движение воздуха, продуктов горения и взвешенных в этой газовой среде топливных частиц.

Как правило, диаметр выходного отверстия меньше диаметра циклонной камеры, вследствие этого крупные частицы пребывают в камере до тех пор, пока их размер не уменьшится до размеров, обеспечивающих их вынос высокотемпературными продуктами горения.

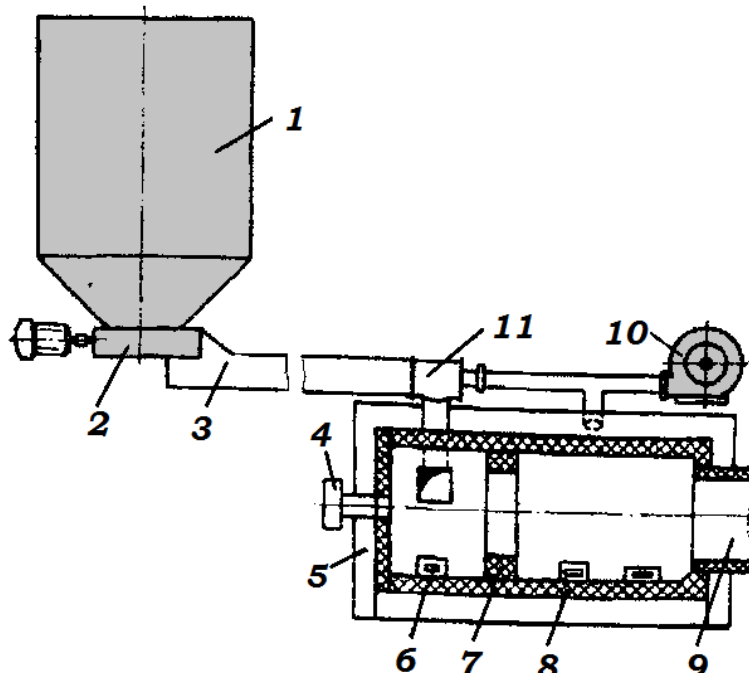
Циклонные топочные устройства – это результат работ по интенсификации процессов тепло- и массообмена в топках с вихревым способом сжигания. В циклонных топках по сравнению с вихревыми удаётся увеличить скорость движения воздуха и продуктов сгорания, а также уменьшить диаметр вихревой зоны, что позволяет интенсифицировать топочный процесс и эффективно сжигать различные виды топлива с размером частиц до пяти миллиметров. Циклонные топки позволяют увеличить долю золы, улавливаемой в топочной камере, и достаточно хорошо компоноваться с различными котлоагрегатами.

Разработаны вертикальные и горизонтальные варианты этих устройств. Топки вертикального типа имеют более высокие газодинамические показатели, но требуют более однородного гранулометрического состава топлива и более громоздки. Горизонтальные циклонные топки (рис. 84) менее требовательны к гранулометрическому составу топлива, более компактны, однако имеют более высокое аэродинамическое сопротивление.

Наиболее часто циклонные топки используют для сжигания опилок, стружки и древесно-шлифовальной пыли. В этом случае топливо пневмотранспортом или системой конвейеров подают в бункер **1**, снабженный рыхлителем для устранения зависания топливного материала. Из бункера питателем **2** древесное топливо подается на шнековый конвейер **3**, с помощью которого поступает в эжектор-смеситель **11**. Здесь оно подхватывается воздухом, нагнетаемым вентилятором **10**,

и топливно-воздушный поток тангенциально вдувается в циклонную топку. Топка состоит из наружного металлического корпуса **5**, внутри которого находится внутренний корпус **8**, футерованный огнеупорным материалом, снабженный кольцевым пережимом **7** и выходным патрубком **9**.

Воздух для сжигания топлива подается вентилятором **10** в зазор между наружным и внутренним корпусами топki, проходя по которому он нагревается, охлаждая внутренний футерованный корпус, и затем поступает в воздушные сопла **6**, установленные тангенциально к внутренней поверхности циклонной камеры. Выходя из сопел с большой скоростью, он обеспечивает интенсивное вращательное движение газотопливного потока внутри топki. Кольцевой пережим **7** увеличивает время пребывания крупных частиц топлива на начальном участке циклонной камеры и полноту их выгорания.



*Рис. 84 – Горизонтальная циклонная топка:*

- 1** – топливный бункер; **2** – питатель; **3** – транспортёр; **4** – газомазутная горелка;  
**5** – наружный корпус циклонной топki; **6** – воздушное сопло;  
**7** – кольцевой пережим; **8** – внутренний футерованный корпус;  
**9** – выходной патрубок; **10** – вентилятор; **11** – эжектор-смеситель

Для растопки циклонной топki на торцевой стене устанавливается газомазутная горелка **4**, обеспечивающая разогрев футеровки до 800 – 900 °С, после чего проводится подача топливно-воздушной смеси древесных отходов. Ответственным элементом, определяющим надёжность работы циклонных топok, является их обмуровка, работающая в тяжёлых температурных условиях. Опыт эксплуатации топok показывает, что применяемые обмуровочные материалы быстро выходят из строя, вызывая длительные остановки котлоагрегатов. Кроме этого отмечены их сильная чувствительность к виду сжигаемого топлива и трудности при организации высоконапорного дутья.

Внедрение циклонных топok в России идёт крайне медленно, а за рубежом то наблюдается расширение их применения, то существенное сокращение. Но, несомненно, то, что данный способ сжигания имеет значительный нереализованный потенциал. В ряде случаев сочетание достоинств циклонного и слоевого способов сжигания в одном топочном устройстве позволяет значительно расширить область и повысить эффективность его применения.

## **Влияние сжигания биотоплива на окружающую среду**

Этот и последующие разделы посвящены общему обзору параметров сжигания биотоплива, которые являются ключевыми с точки зрения охраны окружающей среды. Можно выделить четыре основные темы:

- основные принципы влияния процессов сжигания биотоплива на окружающую среду;
- влияние процесса сжигания биотоплива на углеродный и азотный циклы;
- возврат золы в природу как метод снижения влияния на окружающую среду использования биотоплива;
- потенциальный вклад биотоплива для снижения парникового эффекта.

Влияние использования биотоплива на окружающую среду проявляется уже при рубке леса и уборке его отходов или при сборе урожая сельскохозяйственных растений, так как эти процессы связаны с потерей полезных веществ и микроэлементов из почвы. Это приводит также к закислению почв, что в свою очередь, замедляет процесс возобновления леса на местах вырубок. Кроме этого, использование древесины в качестве топлива связано с выделением продуктов неполного сгорания, которые вредны как для человека, так и для окружающей среды в целом.

Биотопливо признано привлекательным источником энергии для производства теплоты и электричества. Главными преимуществами применения биотоплива являются нулевой эффект цикла углекислого газа (выделяется то количество углекислого газа, которое было поглощено растением в процессе фотосинтеза в течение его жизни), возобновляемость биотопливных ресурсов, их доступность и приемлемая цена.

Биотопливо находит все большее применение, как в виде древесного топлива, так и в виде древесных промышленных и бытовых отходов, продуктов сельскохозяйственной деятельности. Следует отметить, что биотопливо обычно принимается обществом и считается «естественным», экологически безвредным топливным ресурсом. Это служит положительным фактором для развития биоэнергетики, но экологический аспект её применения не такой уж простой.

Биотопливо имеет очень сложный состав. Главным компонентом древесины является целлюлоза, представляющая собой углеводное соединение. Кажется, что она должна просто окисляться, образуя углекислый газ и воду, но это происходит только в том случае, если окисление полное. В противном случае, целлюлоза подвергается карбонизации, открывая дорогу для достаточно сложных химических преобразований. Растительные белки (составляющие совсем небольшую часть) богаты азотом и серой и могут вызвать выбросы оксидов азота и серы. Эта опасность не слишком велика, но существует другая – это смолы, терпеноиды. Они являются летучими соединениями, которые плохо поддаются окислению. Люди их часто ценят за хороший запах, но мало кому известно, что они приводят к аллергии и болезням дыхательной системы. Свежая древесина всегда содержит соль – обычный хлорид натрия. Мы едим соль каждый день и считаем её полностью безвредной. Но при сжигании хлорида натрия выделяется хлор, который вызывает целую серию нежелательных реакций.

## **Влияние процесса сжигания биотоплива на углеродный и азотный циклы в природе**

Кругооборот важнейших в воспроизводстве биомассы элементов, углерода и азота, составляет основу равновесия в биосфере. Он в значительной степени напрямую связан с состоянием и функционированием биосистем, служит определяющим фактором для их устойчивости. В настоящем разделе будут рассмотрены



основные процессы, входящие в круговорот углерода и азота и влияние на них активного использования биомассы для производства энергии.

Элемент *углерод* является основным компонентом органических соединений, без него их просто не существует. Углерод для образования биомассы поступает из атмосферы в виде двуокиси углерода  $\text{CO}_2$  и усваивается растениями в процессе фотосинтеза (рис. 85). Живые существа, как животные, так и растения, благодаря процессу дыхания являются и одним из важнейших источников возобновления содержания двуокиси углерода в атмосфере. Её содержание поддерживается также за счёт разложения органических остатков на поверхности Земли, газообразных выделений из перегноя.

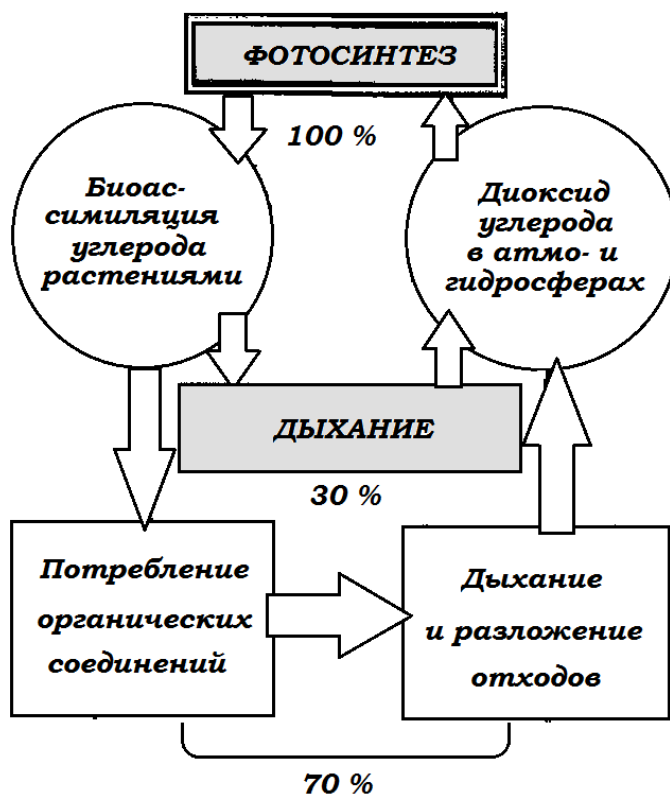


Рис. 85 – Процессы поглощения и выделения углерода в биосфере

Значительная часть биомассы в природе оказывается законсервированной, захороненной. Используемое человеком ископаемое топливо – это остатки биомассы, захороненной миллионы лет назад на суше. Наиболее важным источником и важнейшим гарантом равновесия кругооборота углерода в природе является мировой океан. Углерод поглощается им не только и не столько за счёт фотосинтеза, а в первую очередь за счёт растворимости в воде и образования угольной кислоты. Угольная кислота стабилизируется за счёт увеличения парциального давления (содержания) двуокиси углерода в атмосфере и дестабилизируется (на поверхности) за счёт увеличения температуры воздуха. Потепление океана ведёт, таким образом, к уменьшению растворимости угольного газа в поверхностных слоях океана. На глубине более 30 м его усвоение с подогревом океана наоборот увеличивается за счёт биологических процессов (фотосинтез растительными микроорганизмами, сине-зелеными водорослями) и за счёт выщелачивания пород морского дна – силикатов, солей кремневой кислоты. Выщелачивание приводит к образованию осадочных пород – карбонатов, нерастворимых солей угольной кислоты и двуокиси кремния, обычного песка (рис. 86).

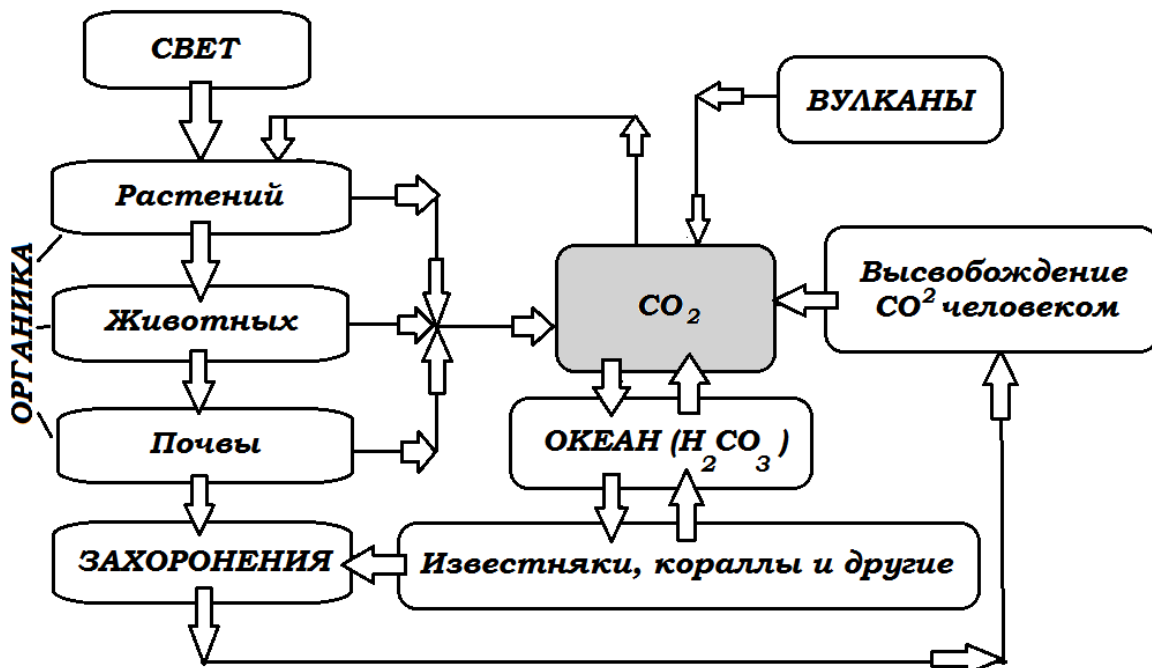


Рис. 86 – Источники связывания и высвобождения двуокси углерода

Углерод из карбонатов высвобождается в настоящее время в сравнительно незначительной степени в ходе вулканической деятельности. Её усиление может приводить к очень существенному возрастанию содержания двуокси углерода в атмосфере, но, обычно, к усилению парникового эффекта не ведёт, ввиду одновременного выделения дыма – мелких твёрдых частиц с высокой отражающей способностью. Баланс углерода на Земле показан на рисунке 87.

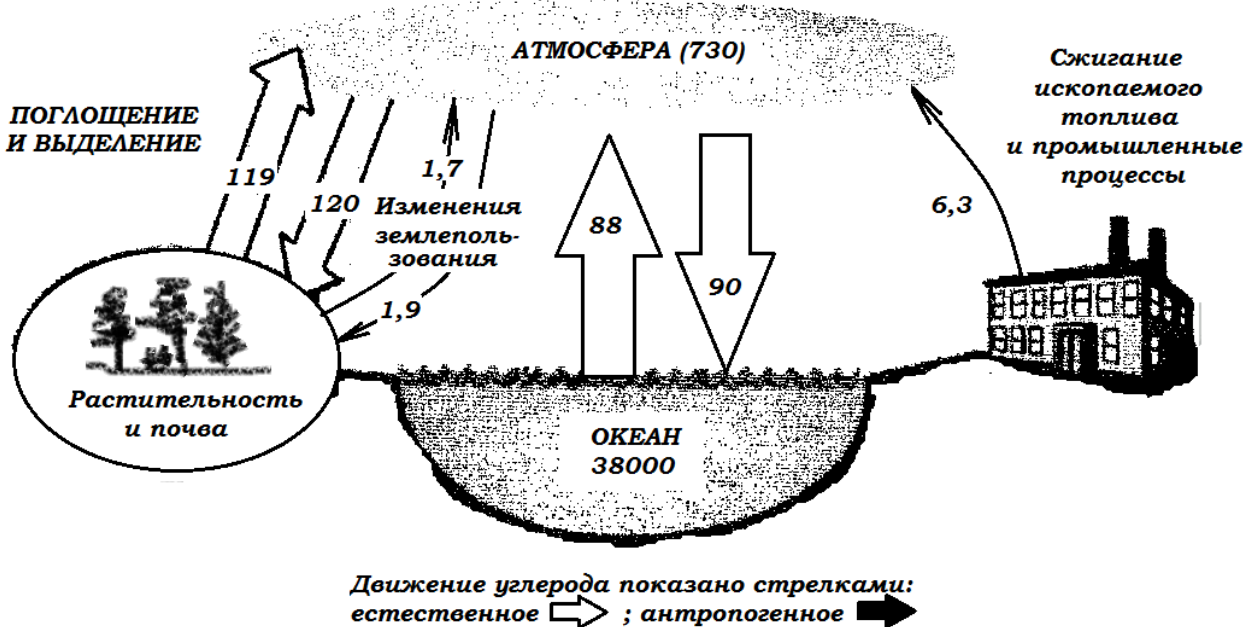


Рис. 87 – Баланс углерода на Земле в миллиардах тонн (запас в законсервированных формах в виде ископаемого топлива вместе с карбонатами осадочных пород – около 1400 млрд. тонн).

Выделение углерода в атмосферу в виде, прежде всего, углекислого газа превышает связывание через биосинтетические процессы как минимум в пять раз. Мировой океан смягчает отчасти этот эффект, но содержание углекислого газа,

особенно в нижних слоях атмосферы, сильно возрастает. Результат – это усиленный парниковый эффект, глобальное потепление и нестабильность климата.

Уменьшение антропогенного выделения двуокиси углерода и её усиленное связывание представляют собой важнейшую задачу в дальнейшем индустриальном развитии человечества. Использование возобновляемых источников энергии – единственная разумная альтернатива. Производство и потребление биотоплива особенно привлекательны в этом отношении. Количество углекислого газа, которое выделяется в процессе сгорания биотоплива, не превышает количества  $\text{CO}_2$ , поглощаемого растениями. Разумный выбор энергетических культур (например, рапс, ива и другие) позволяет быстро и эффективно производить высокоэнергетическое топливо (биодизель, гранулы). Биоэнергетика рассматривается, таким образом, как углеродно-нейтральный процесс.

**Кругооборот азота в природе.** Богатые азотом протеины служат очень важным и совершенно необходимым компонентом в составе как растительных, так и животных клеток. Несмотря на наличие больших количеств азота в атмосфере и почве, именно количество биологически доступного азота часто служит ограничительным фактором для накопления биомассы во множестве экосистем.

Биологически доступными неорганическими соединениями азота служат лишь соли аммония (катиона  $\text{NH}_4$ ) или соли азотной кислоты – нитраты (соли аниона  $\text{NO}_3$ ). Некоторые виды микроорганизмов, азотобактерии в состоянии превращать азот воздуха напрямую в органические азотсодержащие соединения – аминокислоты. Азотобактерии живут в симбиозе с некоторыми видами многоклеточных растений, например, клевером и бобовыми. Для других растений азот доступен лишь через биологически доступные компоненты в почве. Основные процессы, входящие в кругооборот азота, показаны на рисунке 88.

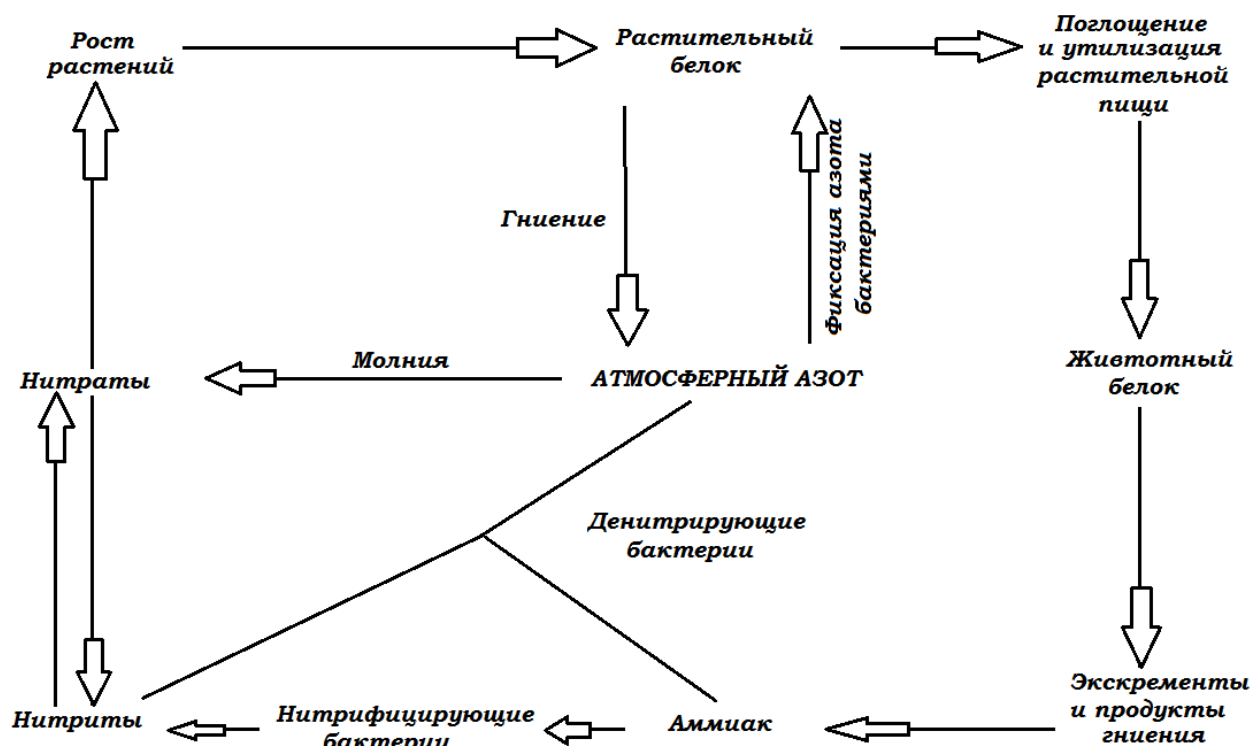


Рис. 88 – Важнейшие биохимические процессы в кругообороте азота в природе

Из обычных для северной флоры пород деревьев хорошей способностью к симбиозу с азотобактериями обладает ольха, из лесных трав – люпин. При засеве обеднённых почв люпином наращивание содержания усваиваемого азота может

достигать 300–400 кг на гектар в год. Это в пять – десять раз меньше, чем требуется в год для роста древесных пород на той же территории. Это означает, что выращивание люпина в течение двух-трёх лет может подготовить почву для нового высаживания долголетних древесных пород.

Как видно из приведённой схемы, наращиванию необходимого для прироста биомассы содержания биологически усваиваемого азота способствует стабильная реализация биологического фиксирования азота, минерализация органических остатков животного и растительного происхождения в почве, приток азота из атмосферы в виде оксидов, образующихся при грозовых разрядах, приток богатых азотом подземных вод и, конечно, внесение минеральных удобрений.

Основными факторами, приводящими к потере запасов усваиваемого азота, служат: вымывание при избыточных осадках, талыми водами и другое, частый сбор урожая растительных культур при отсутствии дополнительного внесения удобрений, а также поедание животными, не принадлежащими данной экосистеме (интенсивный выпас домашних животных, например). К интенсивной потере усваиваемого азота приводят также лесные пожары, особенно если они часто повторяются на одной и той же территории. Воздействие этих факторов на лесные экосистемы показано на рисунке 89.

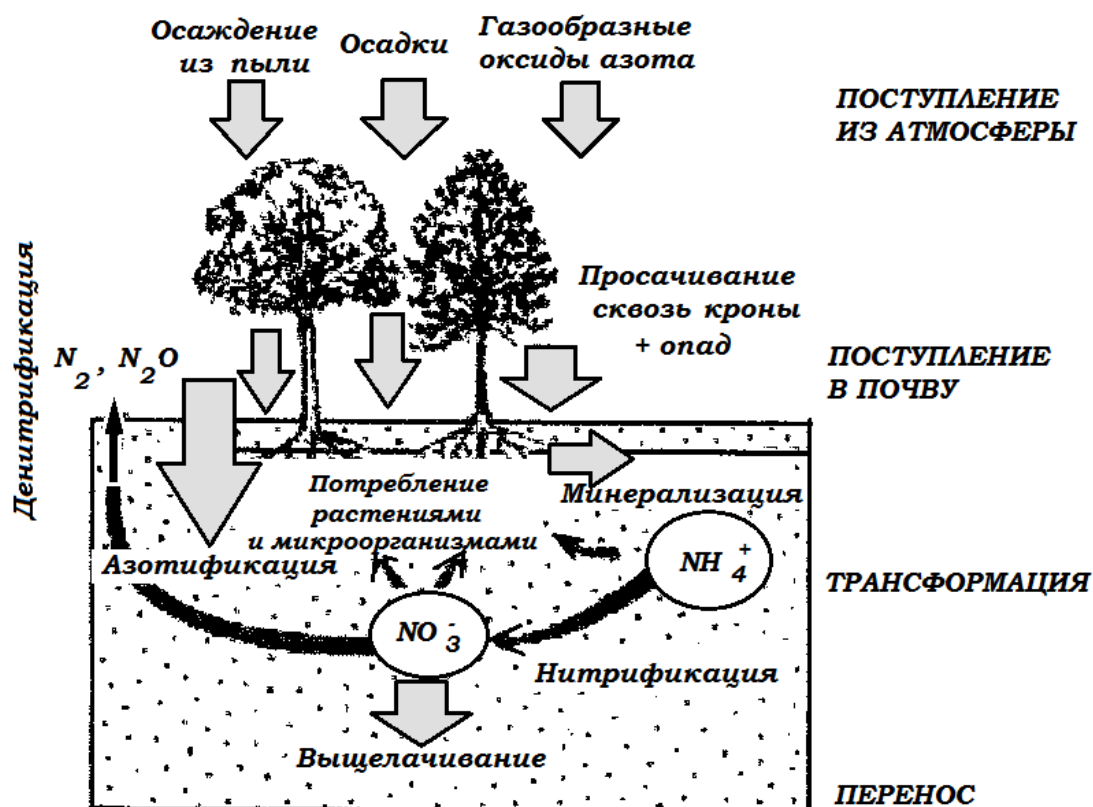
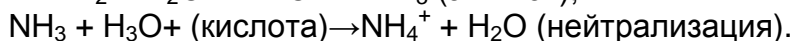
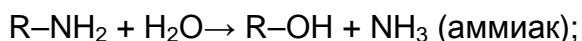


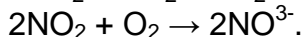
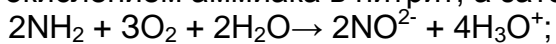
Рис. 89 – Воздействие на экосистему факторов, влияющих на содержание усваиваемого азота

Важнейшим процессом в сохранении усваиваемого азота в лесных экосистемах служит минерализация органических остатков. Аминокислоты и их полимеры – протеины в составе умерших растительных и животных организмов, сначала гидролизуются с выделением аммиака и аминов в процессе аммонификации. Этот процесс приводит к повышению рН (нейтрализации) в почве и в случае нейтральных или кислых почв благоприятствует как существованию азотобактерий, так и протеканию дальнейших превращений в процессе минерализации. Аммонификация:



В почвах, где минеральную основу составляют известняки, возобновление содержания азота за счёт аммонификации ограничено, так как аммиак значительно меньше связывается в почве и может уноситься как газ в атмосферу. По этой же причине не рекомендуется вносить азотные удобрения в виде солей аммония одновременно с обработкой почв против закисления.

В почвах с достаточно высоким значением pH и хорошим доступом кислорода (отсутствием заболоченности) происходят дальнейшие превращения, связанные с окислением аммиака в нитрит, а затем и нитрат-ионы – нитрификация:



Именно нитрат-ионы служат наилучшим источником усваиваемого азота для роста биомассы. Нитратные соли, к сожалению, очень хорошо растворимы. В богатых азотом почвах, где достаточно велика доля гумуса полимерного промежуточного продукта разложения протеинов, который богат основными аминогруппами и является источником аммиака и положительно заряженных ионов аммония, нитрат-ионы задерживаются. Они заряжены отрицательно и притягиваются к нерастворимым полимерным положительно заряженным частицам.

В сравнительно бедных песчаных и каменистых почвах велика опасность вымывания нитратов. Развитая корневая система в лесных экосистемах служит обычно эффективным препятствием для вымывания нитратов из почвы. Потеря азота из средне-зрелого и зрелого леса с развитой корневой системой и выросшего без внесения минеральных удобрений составляет лишь один-два килограмма на гектар в год. В бедных азотом почвах прямой конкурент вымывания – всасывание усваиваемого азота корнями растений. Для большинства территорий Скандинавии и Северо-Западной России вымывание азота не является опасностью для зрелых и средне-зрелых лесов; но усиление притока азота из-за загрязнения атмосферы оксидами азота и закисление почв уже привели к усилению вымывания азота в наиболее южных районах Швеции до пяти-десяти килограммов на гектар в год. С другой стороны, азот в этих районах не является, по-видимому, фактором, ограничивающим рост растений.

Усиленное использование биоэнергетики может оказать весьма сильное воздействие на кругооборот азота в природе. Сжигание в теплоагрегатах средней и малой мощности будет происходить при сравнительно низких температурах (ниже 900 °), что будет связано с менее интенсивным образованием оксидов азота по сравнению со сжиганием ископаемых топлив. Этот эффект практически однозначно положителен, учитывая негативное воздействие оксидов азота на здоровье людей.

Важнейшим фактором в воздействии на баланс азота оказывается, конечно же, организация выращивания и сбора энергетических культур. Вырубка и подготовка почвы к новой посадке приводят к принципиальному изменению ситуации. Верхний слой почвы оказывается нарушенным; усиливается доступ кислорода, снижается защита от вымывания; часто возрастает влажность. Результатом становится ускоренная аммонификация и нитрификация. В обычных условиях опавшая хвоя и мелкие ветки аммонифицируются примерно за полгода, с последующей нитрификацией в течение полутора-двух лет. В почве, разрыхленной после вырубки, эти процессы протекают быстрее. Кроме того, интенсифицируется рост нитрифицирующих бактерий.

Обычным результатом становится повышение температуры почвы и pH в течение первых месяцев. Удаление большого объёма биомассы приводит и к уменьшению возможностей экосистемы к удержанию азота в почве. Баланс катионов металлов нарушается за счёт удаления деревьев (сок растений является раствором

солей), гумус аммонифицируется и затем окисляется, что приводит на следующем этапе к закислению почвы и ускоренному вымыванию азота. В течение первых четырёх-пяти лет после рубки потеря азота составляет от пяти до десяти килограммов с гектара в год.

Расширенное использование биотоплива потребует более интенсивного ведения лесного хозяйства. Проведение вырубок нужно будет сочетать с чётко планируемой работой по восстановлению леса. Одним из разумных путей решения возникающих проблем может быть практикуемое в Швеции оставление ветвей и хвои, а также пней (корневой системы) по возможности на месте рубок для поддержания азотного баланса. Большое внимание должно быть уделено выращиванию быстрорастущих богатых энергией сортов деревьев и кустарника – энергетического леса. Они позволят быстрее восстанавливать равновесие в накоплении и расходовании усваиваемого азота. Необходимо будет также возвращать в почву катионы щелочных и щёлочно-земельных металлов (через возврат золы), а возможно и вносить дополнительные удобрения.

### **Возврат золы в природу как метод снижения влияния на окружающую среду при использовании биотоплива**

**Причины необходимости возврата золы в почву.** Любые виды сбора биомассы и вывод её из леса приводят к обеднению и понижению кислотно-буферных свойств почвы в лесу. Концентрация полезных микроэлементов выше в кроне и ветках, поэтому удаление не только стволов, но и всех древесных остатков, включая ветки и крону, приводит к закислению почвы и потере питательных веществ в лесной почве более чем в три раза.

Для устойчивого развития биоэнергетики и использования леса как источника теплоты и энергии необходимо правильное лесоводство, предусматривающее стабильность экосистемы леса и сохранность полезных и питательных свойств лесной земли. Одним из решений этих проблем является возврат золы в почву леса. Если посмотреть на состав золы, получаемой при сжигании древесины, то можно сразу увидеть, что она богата микроэлементами и питательными веществами, а также содержит соли, поддерживающие кислотно-основной баланс почвы.

Древесная зола в основном состоит из неорганических компонентов древесины (табл. 20). Типичные элементы, входящие в её состав – кремний, кальций, калий, фосфор, марганец, железо, цинк, натрий и бор. Наиболее распространённый компонент золы от древесного топлива – кальций.

Таблица 20

*Содержание основных элементов в древесной золе*

Древесное топливо	Основные элементы в сухом остатке золы, %									
	Ca	Na	Al	Fe	Ti	Mg	K	Si	S	P
Щепа (сосна, ствол)	24,0	0,16	2,70	1,50	0,034	3,10	10,0	11,0	0,65	2,1
Щепа (древесные отходы)	11,0	0,26	2,50	2,60	0,300	2,40	6,9	18,0	0,65	1,4
Опилки (сосна)	29,9	0,20	1,06	1,29	0,070	7,12	10,2	3,9	0,78	2,29
Ель (кора)	28,0	0,28	0,57	0,10	0,021	3,10	6,3	0,7	0,39	1,8
Сосна (кора)	29,0	0,37	2,80	0,21	0,046	2,70	6,3	0,6	0,82	2,1
Ива (саликс)	22,0	0,20	0,16	0,13	<0,01	3,10	22,0	0,02	1,20	5,0

В основном металлы и неметаллы присутствуют в золе в виде оксидов, поэтому зола от древесины достаточно щелочная и имеет pH около 12, что в свою очередь, способствует снижению кислотности при её внесении в почву. Существует

ет разница в составе золы от сжигания разных пород деревьев, разных частей дерева. Так, например, зола от стволовой части дерева более богата натрием и магнием, а зола от коры содержит больше кремния. Из-за высокого содержания в древесной золе минералов и микроэлементов, необходимых для поддержания и обогащения питательности почв, целесообразно возвращение золы обратно в естественный цикл природы.

Необходимо иметь в виду, что состав золы существенно различается и в зависимости от места её отделения в процессе сжигания (табл. 21). Зола, остающаяся при проведении процесса сжигания в пределах топки – нелетучая зола, оказывается более богатой основными компонентами и более щелочной. Летучая фракция, сажа, богаче микроэлементами и тяжёлыми металлами и имеет менее щелочную реакцию.

Таблица 21

Содержание тяжёлых металлов в золе и саже от сжигания в кипящем слое

Элемент	Содержание, мг/кг	
	Нелетучая зола	Летучая зола, сажа
Мышьяк (As)	0,2 – 3,0	1,0 – 60,0
Кадмий (Cd)	0,4 – 0,7	6,0 – 40,0
Кобальт (Co)	0,1 – 7,0	3,0 – 200,0
Хром (Cr)	0,0 – 60	40,0 – 250,0
Медь (Cu)	15 – 300	200,0
Ртуть (Hg)	0,1 – 0,4	0,1 – 1,0
Марганец (Mn)	2500,0 – 5500,0	6000,0 – 9000,0
Никель (Ni)	40,0 – 250,0	20,0 – 100,0
Свинец (Pb)	15,0 – 60,0	40,0 – 1000,0
Селен (Se)	–	5,0 – 15,0
Ванадий (V)	10,0 – 120,0	20,0 – 30,0
Цинк (Zn)	15,0 – 1000,0	40,0 – 700

**Пути утилизации золы.** В Швеции и Финляндии древесная зола, используемая для удобрения леса, состоит в основном из летучих фракций и сажи, образующихся в топках при сжигании древесного топлива. Дело в том, что объём летучих фракций при этом намного превышает объём нелетучей золы, которая к тому же крупнозерниста и трудна в обращении. Кроме того многие вредные компоненты, какие могли быть в древесине, оседают в топке вместе с золой, поэтому предварительная очистка золы от вредных примесей может привести к экономическим затратам намного большим, чем объём чистой золы. Таким образом, наиболее простым и дешевым способом возврата золы в природу служит возврат летучих фракций, собираемых в золоуловителях.

**Использование золы в качестве удобрения для лесных почв.** Положительный эффект от удобрения древесной золой на рост сосны на торфяных богатых азотом почвах был отмечен уже в ранних исследованиях, проведенных Финским Институтом Исследования Леса в 1930 годах. Положительные характеристики золы как удобрения основаны главным образом на содержании в ней фосфора, калия и бора. Зола не увеличивает роста деревьев на каменистой почве, так как зола не содержит азота, которого не хватает в этих почвах и который в этом случае является ограничительным фактором роста.

Несмотря на положительный эффект на торфяных почвах, использование золы оставалось на экспериментальном уровне. Методики обработки золы не были ещё разработаны, и доступна для использования была лишь сухая зола в виде пыли. По сравнению с искусственными удобрениями необходимо было вносить значительно большее количество золы, чтобы получить значительное воздействие на

скорость роста, (от четырёх до пяти тонн древесной золы на гектар по сравнению с примерно 0,5 т искусственных удобрений).

Эффект питательных веществ золы длится обычно 30–40 лет. Воздействие питательных компонентов искусственных удобрений (фосфора и калия) в аналогичных условиях продолжается по различным оценкам 15–25 лет. Древесная зола содержит все необходимые элементы (за исключением азота) в правильном соотношении, необходимом для роста деревьев. Кроме того, древесная зола служит удобрением, стабилизирующим здоровье растений: при удобрении древесной золой различия в росте отдельных деревьев, вызываемые различной доступностью питательных веществ, значительно сокращались на торфяных и твёрдых почвах.

Результаты первых попыток удобрения золой на осушенных торфяниках, проведённых в 1930 годы, показали улучшенный рост деревьев и улучшение нормального восстановления древесных пород. Эти ранние исследования показали также рост активности микроорганизмов в поверхностных слоях торфянистых почв под действием удобрения золой. Более поздние работы подтвердили эти наблюдения и показали, что отмеченный эффект долговременный. Рост сосны (*Pinus sylvestris*), например, значительно возрос на торфянистых почвах с содержанием азота 1,5–2,5% сухого вещества. На почвах с содержанием азота менее одного процента ускорение роста было незначительным.

Эффект от удобрения золой проявляется медленнее, чем воздействие искусственных калийно-фосфорных удобрений, но через десять лет результат внесения золы оказывался не хуже, а во многих случаях лучше при эквивалентном объёме удобрений. Важно отметить, что леса, выросшие на торфянистых почвах, не страдали от нарушений роста из-за отсутствия микроэлементов. Более того, там, где такие нарушения наблюдались до начала удобрения золой, они были преодолены в короткие сроки. Эффект удобрения золой проявлялся на богатых азотом торфянистых почвах в течение 30–50 лет, обеспечивая дополнительный прирост в 3 - 4 м<sup>3</sup> в год. Если количество вносимой золы было менее двух тонн на гектар, никакого заметного эффекта улучшения роста замечено не было.

Фосфор зачастую является важнейшим ограничивающим питательным компонентом в торфянистых почвах. Поэтому дозировку золы для удобрения необходимо проводить на основе содержания в ней фосфора. Если удобрение вносится в соответствии с рекомендованной одноразовой дозировкой (45 кг/га фосфора), количество вносимой золы может существенно различаться в зависимости от её качества. По данным анализа золы, среднее содержание фосфора составляет чуть меньше одного процента (8,1 г/кг) и минимальная дозировка золы не должна быть менее пяти т/га. Нужно также отметить, что обработка и хранение золы влияют на содержание питательных веществ: увлажнение и хранение на открытом воздухе сопряжены с потерей полезных компонентов.

Удобрение золой не привело к ускорению роста деревьев на каменистых почвах, так как зола не содержит азота, определяющего скорость роста в этих условиях. В некоторых случаях наблюдалось даже некоторое замедление. Удобрение золой имеет сильный подщелачивающий эффект: оно приводит к увеличению pH и увеличивает содержание в почве питательных веществ (фосфора, калия, микроэлементов) как в торфянистых, так и в каменистых почвах. В результате увеличивается микробная активность и ускоряется разложение органических остатков. В каменистых почвах внесение золы может помочь компенсации удаления питательных веществ в результате вырубki, препятствовать выщелачиванию и закислению почв. Внесение золы может, таким образом, давать положительный эффект даже при отсутствии ускорения прироста объёмов.

При сжигании древесного топлива тяжёлые металлы собираются в золе. Наиболее опасным из них обычно рассматривается кадмий. Проведённые до настоя-



щего времени исследования показали, однако, что внесение золы не приводит к превышению предельно допустимых концентраций в ягодах. Даже выщелачивание в почву и подземные воды обычно незначительно. При использовании золы в качестве удобрения важно заранее знать её состав, чтобы не допустить превышения норм по содержанию тяжелых металлов. Широкомасштабное использование золы как удобрения требует более тщательного изучения её экологических эффектов.

В настоящее время не имеется достоверных методов для характеристики золы в отношении скорости её растворения в почве. Одним из путей характеристики обработанной золы (гранулированной или таблетированной) служит измерение проводимости в водных экстрактах согласно методике, описанной ниже. Это даёт представление о суммарном содержании солей и возможном непосредственном риске для растительности, в особенности мхов и лишайников.

**Технологии обработки золы.** Транспорт сыпучей золы требует перевозки больших объёмов, разносит грязь, а распределение её очень трудно проводить равномерно. Более того, порошок золы разъедает металлические детали и очень вреден для здоровья. Цель обработки – компактирование или гранулирование золы, чтобы избежать проблем, связанных с перевозкой и распространением. В Швеции активные исследования в этой области начались уже в начале 1990 годов, а их результаты инициировали дальнейшие исследования в Финляндии. Одна из возможных схем для переработки золы и других отходов лесной индустрии представлена на рисунке 90.

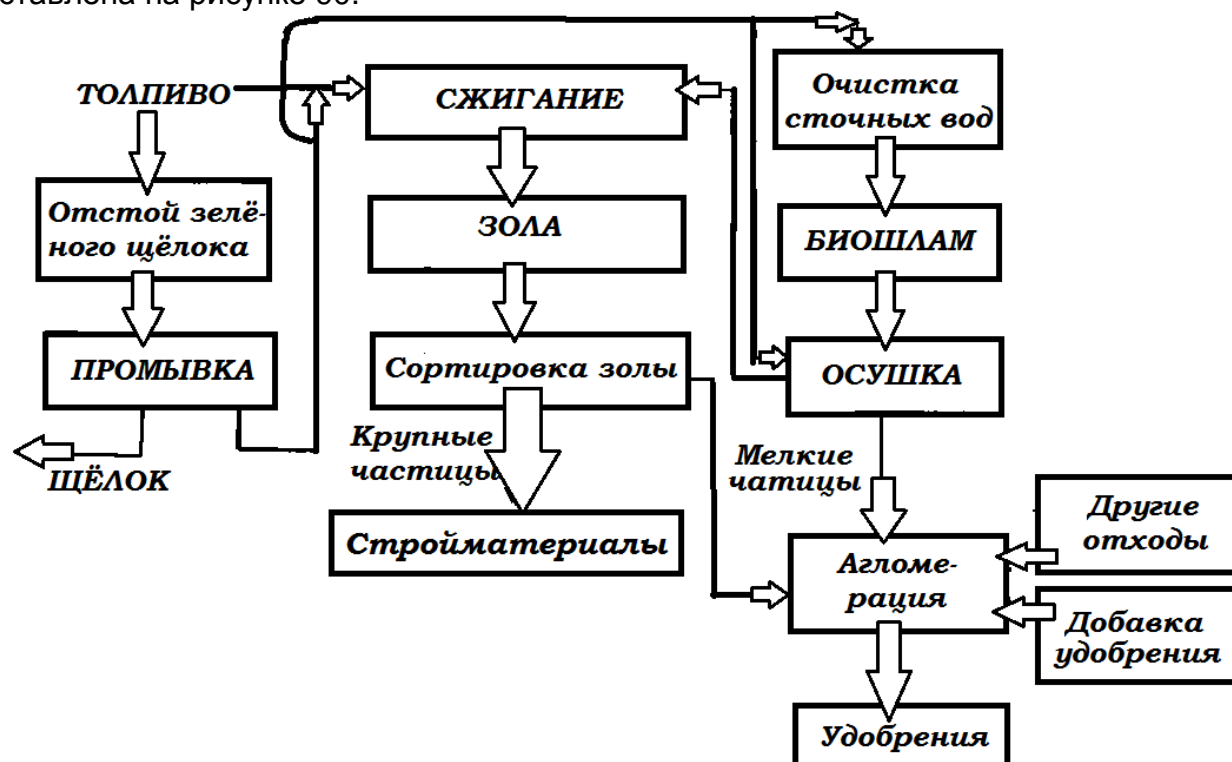


Рис. 90 – Обработка отходов лесной промышленности для получения удобрений

Две крупнейшие компании в Финляндии уже активно используют гранулирование на барабанном и дисковом оборудовании. В Швеции было предложено использовать процессы самоотверждения, в частности в бумажном производстве.

По исследованиям в Финляндии предложено гранулирование золы с добавкой биошлама, как решение проблем утилизации двух главных типов отходов в бумажной индустрии. Были также изучены различные методы классификации золы с целью уменьшения содержания тяжёлых металлов в перерабатываемом продукте.

Смачивание увеличивает содержание воды в золе. Самоотверждённая зола содержит (в %) 20 – 30 воды, в обработанном шламе сохраняется 40 – 50 и только 12 в гранулах. Зольные продукты, обработанные по разной технологии, различаются по многим характеристикам.

**Самоотверждение.** На ряде заводов Финляндии и Швеции самоотверждение хорошо зарекомендовало себя как недорогой метод переработки золы. В этом методе золу смачивают водой (до 30–40 %) и затем оставляют на хранение для отверждения. Увлажнение производится в шнековом увлажнителе. В зависимости от температуры отверждение занимает от 7 до 14 дней. Перед распространением в лесу золу просматривают и разбивают наиболее крупные куски. Размер частиц может варьироваться от пыли до кусков в несколько сантиметров. Плотность самоотверждённой золы в пределах 700–800 кг/м<sup>3</sup>, а влажность около 25 %. Самоотверждённая зола всегда содержит некоторое количество пыли, так что преодолеть поставленные проблемы этим методом полностью не удастся.

В лабораторных тестах при внесении 34–35% влаги процесс отверждения проходит значительно быстрее и завершается за два-три дня. При внесении такого количества воды меньше оказывается и фракция пыли. Гидратация золы – экзотермический процесс, поэтому может проводиться круглогодично. Температура в золе, поливаемой из форсунок, может подниматься до 80–100 °С.

Проведённые в Швеции исследования показали, что самоотверждённая и размолотая зола весьма хорошо растворима, что подтверждалось высокой проводимостью и увеличенной концентрацией Na, K, Ca и SO<sub>4</sub> на глубине около 50 см. Тяжёлые металлы не выделялись в подземные воды даже при дозировке такой сильно растворимой золы до 9 т/га. Несколько увеличенным оказывалось только выделенное количество кадмия, что следует учитывать в применении этого продукта. Применение золы (3 т/га) совместно с азотными удобрениями (150 кг/га) приводило к некоторому увеличению количеств аммиака при стабильном pH. Внесение только азотных удобрений в те же почвы было сопряжено с увеличением кислотности. Стоимость отвержденной золы с учётом инвестиций в оборудование и организацию составляла около 2,5 евро за тонну.

**Гранулирование.** Учитывая проблемы логистики при использовании удобрений, наиболее удачный подход в обработке золы был бы метод, дающий продукт, максимально схожий с искусственными удобрениями. Гранулирование решило бы практически все проблемы использования сыпучей золы. Ввиду большей плотности (900–1100 кг/м<sup>3</sup>) уменьшились бы удельные расходы на транспорт. Количество пыли в гранулированной золе очень мало, что облегчает её использование. Намного легче и дозировать, и распространять гранулированную золу.

Гранулированная зола более однородна по размеру, что предохраняет дозаторы от частых остановок для чистки, её легче распространять на большую площадь. Агрегаты для гранулирования базируются на оборудовании, предназначенном для гранулирования бетона, приспособленном под специфические задачи обработки золы. В процессе гранулирования взвешенные в определённом количестве сухая зола и вода смешиваются в бетономешалке и затем подаются на наклонную вращающуюся платформу диаметром около трёх метров. В процессе обработки смесь превращается в гранулы. Содержание влаги в них около 12 %. Размер частиц при такой обработке может быть разным. Нужно просеивать продукт и возвращать мелкие гранулы обратно в процесс, а крупные – разбивать. Вследствие большей стоимости оборудования и меньшего объёма производства, цена гранулированной золы намного выше – около 20 евро за тонну. Для гранулирования было опробовано и вальцевание (таблетирование). При вальцевании главная сложность состоит в увлажнении золы, а влажность готового продукта очень низка (около 5 %). Стоимость таблетированного продукта примерно 17 евро за тонну.

Таблетированная зола растворяется сравнительно медленно, что приводит к более медленному выделению питательных веществ. С другой стороны, таблетирование смягчает рН-шок при внесении золы и может положительно влиять на содержание в почве тяжёлых металлов. Важным свойством таблеток служит их механическая прочность – доля пыли в них незначительна.

**Гранулирование с биошламом.** Производство бумаги связано с образованием большого количества жидкого биошлама, требующего утилизации. Биошлам богат азотом и фосфором, что делает его применение в качестве связывающего и увлажняющего компонента для зольных гранул очень привлекательным. Наиболее удачным оборудованием для получения таких гранул служат бетономешалки. Обычно количество биошлама составляет около 60 %. Гранулы при этом покрыты золой и снаружи затвердевают, сохраняя при этом высокую влажность.

Стоимость полученных этим способом гранул несколько выше, 18,5–20,0 евро за тонну, но компенсируется это за счёт их значительно более высокой ценности как удобрения. Особенно значительным оказывается их действие на ускорение роста березы.

### **Законодательная и нормативно-правовая база биоэнергетики**

Во многих странах приняты меры законодательного обеспечения развития биоэнергетики; и этот раздел посвящён именно анализу законодательно-правовой базы развития биоэнергетики в зарубежных странах. Во многих странах, в том числе развивающихся, сформулирована политика стимулирования развития биоэнергетики.

В России основным законом, регулирующим отношения в сфере использования энергетических ресурсов и энергосбережении, служит Федеральный закон № 28 «Об энергосбережении» (принят в апреле 1996 году), но он не имеет биоэнергетической направленности. В нём только даётся понятие возобновляемых источников энергии и альтернативных видов топлива, упоминаются такие виды биотоплива, как биогаз и продукты переработки биомассы. Вторым документом, затрагивающим отношения в сфере биоэнергетики, является «Энергетическая стратегия России на период до 2020 года», утверждённая распоряжением Правительства Российской Федерации № 1234 от 28 августа 2003 года, в котором также отсутствуют конкретные меры по развитию биоэнергетики.

Развитие биоэнергетики в России по опыту развитых стран может способствовать решению целого комплекса государственных задач:

- снизить энергозависимость отрасли и национальной экономики от роста цен на традиционные источники энергии;
- улучшить экологическую обстановку и получить дополнительные источники «углеродных кредитов» в рамках Киотского протокола;
- создать новые рабочие места в различных отраслях экономики;
- расширить структуру экспорта, повысить доходность лесного и аграрного секторов;
- обеспечить устойчивое энергоснабжение сельского населения и сельхозпроизводства в зонах децентрализованного электроснабжения.

Мировой опыт внедрения новых видов топлив показал, что развитие биоэнергетики стало возможным только благодаря серьёзной политической и экономической поддержке государства и наличию соответствующего законодательства.

В этой связи необходимо скорейшее создание и развитие законодательной и нормативно-правовой базы для государственного регулирования в области биоэнергетики. Особенно важным в данном вопросе видится создание комплекса стимулирующих мер в области налогового законодательства, предусматривающего

введение системы дополнительного стимулирования дифференцированного взимания акцизов и налогов на прибыль при производстве биологических топливных добавок и их использовании производителями моторного топлива. Необходимы меры по совершенствованию таможенно-тарифной политики в области развития экспортно-импортных операций, направленных на развитие рынка, и разработка механизма «продажи углеродных кредитов» в рамках реализации положений Киотского протокола. Также важно большое внимание уделять разработке предложений по улучшению качества подготовки кадров путём совершенствования государственных образовательных стандартов, учебно-программной документации, материально-технической базы образовательных учреждений, внедрения современных технологий и методов обучения.

### Перспективы развития лесной биоэнергетики в Российской Федерации, странах Европы и Северной Америки

#### Общемировое состояние энергетического использования древесины.

В предыдущих разделах были рассмотрены различные аспекты лесной биоэнергетики – технические, социально-экономические, экологические. В этом разделе, подводя определённым образом итоги, покажем состояние и направление развития использования древесного топлива в трёх экономически важных регионах мира: Европе, Северной Америке и Российской Федерации на фоне общемирового потребления биоэнергии. Представление о доле энергии биомассы в общем потреблении энергии в мире следует из рис. 91. Биомасса даёт около десяти процентов общего мирового потребления энергии и это в четыре раза больше, чем вклад гидроэнергетики.

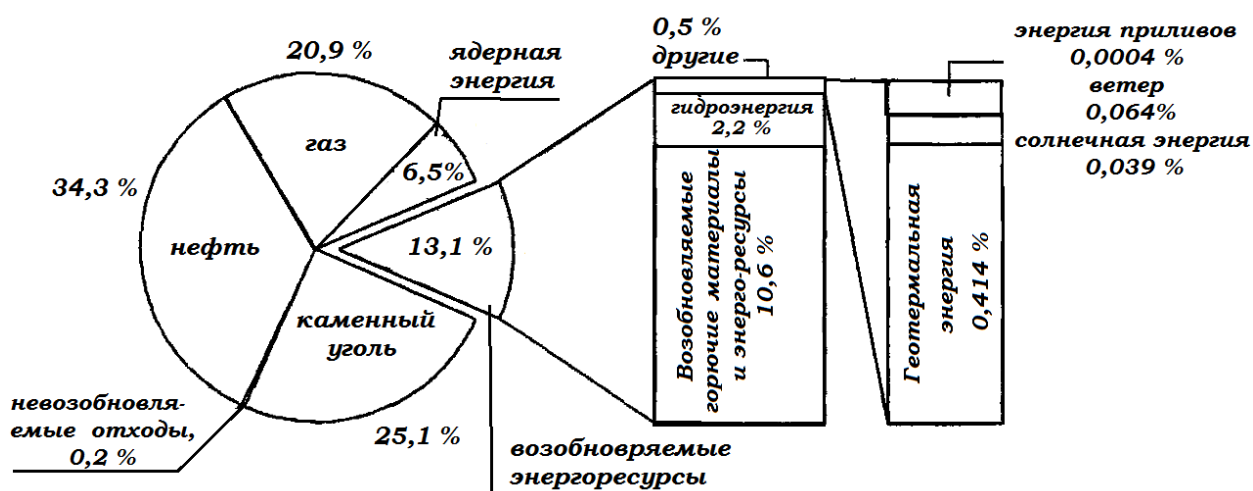
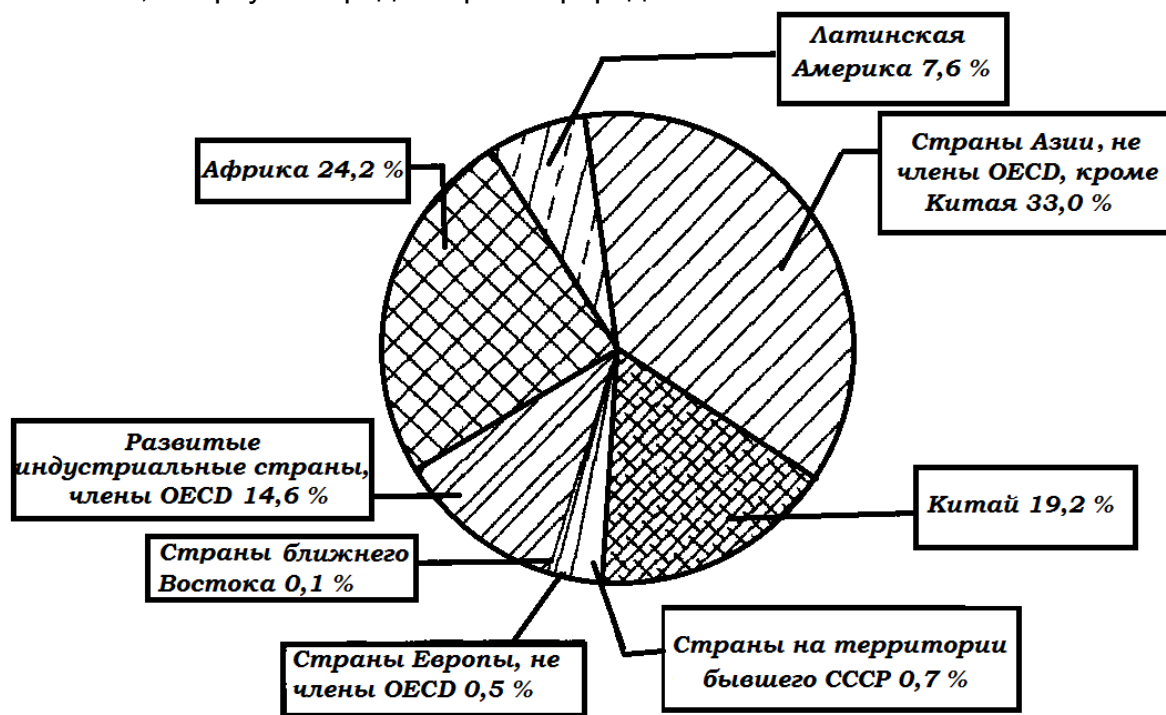


Рис. 91 – Доли различных источников в мировом потреблении энергии

Использование биомассы как источника энергии, а основную долю в используемой для производства энергии биомассе составляет биомасса деревьев, неравномерно распределено по континентам и странам. На рис. 92 представлены данные о потреблении биотоплива в различных регионах мира. Три четверти потребления приходится на страны Азии и Африки. В некоторых странах экваториальной Африки энергия древесной биомассы превышает половину всей потребляемой энергии.

Страны СНГ, включая Россию, обладающую самыми большими запасами лесных ресурсов, используют менее одного процента мирового потребления биотоплива.

Потребление биотоплива обусловлено в разных регионах различными причинами. В странах Азии и Африки древесина используется главным образом как бытовое топливо для приготовления пищи. Сжигание осуществляется в примитивных очагах и эффективность использования топлива крайне низка. В развитых лесоиндустриальных странах, особенно в Европе, расширение использования биотоплива и развитие биоэнергетики вызвано сознательным стремлением уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу и ослабить зависимость экономики от импортируемых ископаемых энергоносителей, в первую очередь нефти и природного газа.



*Рис. 92 – Потребление биотоплива в регионах мира*  
 (Страны ОЕСД: Австралия, Австрия, Бельгия, Великобритания, Венгрия, Дания, Германия, Греция, Исландия, Ирландия, Испания, Италия, Корея, Люксембург, Мексика, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Португалия, Словацкая Республика, США, Турция, Финляндия, Франция, Чешская Республика, Швейцария, Швеция, Япония)

Считается, что ежегодно в Европе может потребляться для производства энергии древесная биомасса с суммарной теплотой сгорания 4,0 ЭДж, солома с теплотой сгорания 1,6 ЭДж, энергетические зерновые культуры с теплотой сгорания 2,6 ЭДж и другая биомасса с теплотой сгорания 0,7 ЭДж. В сумме это составляет 8,9 ЭДж. Реально используется около 2,4 ЭДж (данные ИЕА за 2004 год), то есть только четверть. Нужно заметить, что древесная биомасса используется более чем на 50 % от возможной величины, то есть более полно, чем биомасса в целом. На энергетические цели в странах ЕС расходуется около 250 млн. м<sup>3</sup> древесины. Например, во Франции потребление топлива из древесной биомассы составляет около 38 млн. м<sup>3</sup>. В расчёте на душу населения европейский лидер – это Австрия, в этой стране десять процентов потребностей в энергии удовлетворяется за счёт утилизации древесной биомассы.

## **Развитие лесной биоэнергетики в Российской Федерации**

**Потенциал лесной биоэнергетики РФ.** Российская Федерация имеет наибольшую по сравнению с другими странами площадь, занятую лесами, – более 800 млн. га или более чем 20 % общемировых запасов леса. Но ежегодная заготовка составляет только 120 млн. м, в то время как в Швеции, имеющей запасы около двух-трёх процентов от ресурсов России, заготовка составляет около 75 млн. м<sup>3</sup>. Кроме того, большая часть лесов в России относится к спелым или перестойным категориям. Низкая активность лесозаготовок – это, в значительной степени, следствие неразвитой инфраструктуры, недостатка квалифицированного персонала и низкой несущей способности грунтов. Это также означает, что количество отходов лесозаготовок, которые могли быть использованы для производства энергии, значительно меньше потенциала.

По настоящее время спрос на энергию из древесины в России был слабым. Россия является страной с наибольшей добычей природного газа и обширными запасами нефти и угля. Следовательно, энергия на ископаемом топливе была очень дешёва во многих частях России, что давало мало стимулов для переключения на использование древесной энергии, например для отопления зданий. Однако Россия чрезвычайно большая страна и ископаемые энергоисточники распределены неравномерно. В связи с чем, нефть, газ и уголь должны транспортироваться часто на большие расстояния в отдалённые районы, не имеющие совсем собственных резервов ископаемого топлива. Это и стремление в России согласовывать цены на ископаемое топливо с уровнем мирового рынка привело к повышению интереса к использованию энергии древесины для внутреннего потребления, особенно в сельской местности.

Масштабы развития биоэнергетики в лесопромышленном комплексе напрямую зависят от ресурсов древесного топлива. Для оценки ресурсов древесного топлива, образующегося на предприятиях ЛПК России, принят нормативно-расчётный метод. За базу для расчёта ресурсов приняты объёмы выпуска в 2005 году основных видов лесобумажной продукции, при производстве которой образуется существенное количество отходов, а также дровяная древесина.

Расчёты нормативов образования отходов в лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности были выполнены по областям, округам и республикам для Центрального, Северо-Западного, Южного, Приволжского, Уральского, Сибирского, Дальневосточного федеральных округов. Экономически более доступными для использования в качестве топлива в лесной промышленности в настоящее время служат дровяная древесина и отходы лесозаготовок, отходы деревообрабатывающих отраслей промышленности, таких как лесопиление и фанерное производство, кора, образующаяся на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности при окорке балансов.

Ресурсы древесного топлива по регионам России приведены в табл. 22. Доступные ресурсы древесного топлива в лесопромышленном комплексе Российской Федерации, исходя из объёмов производства лесобумажной продукции в 2005 году, составляют более 45 млн. м<sup>3</sup>. Наибольшие ресурсы древесного топлива сосредоточены в Северо-Западном, Сибирском и Приволжском федеральных округах.

Анализ структуры ресурсов древесного топлива по его видам показывает, что 72 % всех ресурсов сосредоточены на предприятиях лесозаготовительной промышленности. Из них (в %) три четверти (74) составляет дровяная древесина, а 26 – ветви и сучья кроны деревьев.

Ресурсы дровяной древесины рассчитываются как разница между объёмами вывезенной древесины и объёмами круглых лесоматериалов. Такие расчёты дают заниженный результат, поскольку значительные объёмы дровяной древесины лесозаготовители оставляют в лесу и в отчетные данные не включают. В действи-

тельности, количество дровяной древесины в России оценивается в объёме 30 % объёма заготовки древесины.

Таблица 22

*Ресурсы древесного топлива РФ по регионам*

Федеральный округ	Ресурсы топлива, тыс. пл. м <sup>3</sup>					Всего
	От лесозаготовок	Из отходов лесопиления	Из отходов фанерного производства	От отходов производства деревянной ящичной тары	Ресурс коры в ЦБК	
Центральный	4006,7	473,7	683,1	285,7	0,0	5449,1
Северо-Западный	8425,6	1387,3	1158,4	73,7	2306,8	13351,8
Южный	277,0	51,8	10,1	71,20	12,7	422,8
Приволжский	5831,0	884,2	793,4	538,1	175,4	8222,1
Уральский	2786,8	426,8	280,5	51,6	27,0	3572,7
Сибирский	7722,8	1520,0	219,8	43,2	1078,6	10584,5
Дальневосточный	3299,3	281,4	0,0	0,00	0,0	3580,7
Всего:	32349,2	5025,2	3145,3	1063,4	3600,5	45183,6

Важны ресурсы топливной щепы из сучьев кроны деревьев при переходе на вывозку древесины деревьями, как наиболее выгодной с точки зрения использования сучьев кроны деревьев в качестве топлива. Объём сучьев, доставляемых на нижние склады лесозаготовительных предприятий при вывозке древесины деревьями определяется из расчёта 7,5 % от объёма вывезенной ствольной древесины. Лесосечные отходы, остающиеся на лесосеке, на данном этапе принимаются экономически недоступными.

Структура ресурсов древесного топлива существенно изменяется по федеральным округам России. Изменения связаны со степенью развитости деревообрабатывающих производств. Так, например, в Северо-Западном федеральном округе, где наиболее развита переработка древесины, доля ресурсов древесного топлива в лесозаготовительной промышленности на девять процентов меньше, чем в среднем по России, а доля коры на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности в два раза выше средней. В Дальневосточном федеральном округе из-за слабо развитой переработки древесины более 90 % ресурсов древесного топлива сосредоточены в лесозаготовительной промышленности.

Данные, приведённые в табл. 22, включают дровяные деревья, крону и кору деловых деревьев, а также отходы деревопереработки за исключением щелоков ЦБП. Энергетический эквивалент этих ресурсов – 285 ПДж, что составляет около десяти процентов от объёма внутреннего спроса на первичную энергию в России – 964 млн. т условного топлива (у. т.) или 28250 ПДж. Разумеется, это только часть потенциальных энергетических ресурсов лесов России, но такая часть, которая не только может, а должна быть обязательно использована. Не будучи использована, эта биомасса подвергается гниению, увеличивает пожароопасность лесов и ухудшает условия для лесовозобновления.

В лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности потребляется в год 13 млн. т у. т. или 380 ПДж, то есть 75 % потребностей этой отрасли могли бы быть покрыты за счёт собственных энергетических ресурсов. В настоящее время на долю древесной биомассы в потреблении топлива лесопромышленным комплексом России приходится менее 4,0 млн. т у. т. или 117 ПДж, то есть около 30 % от отраслевой потребности в топливе. Таким образом, располагаемый ресурс используется меньше, чем наполовину.

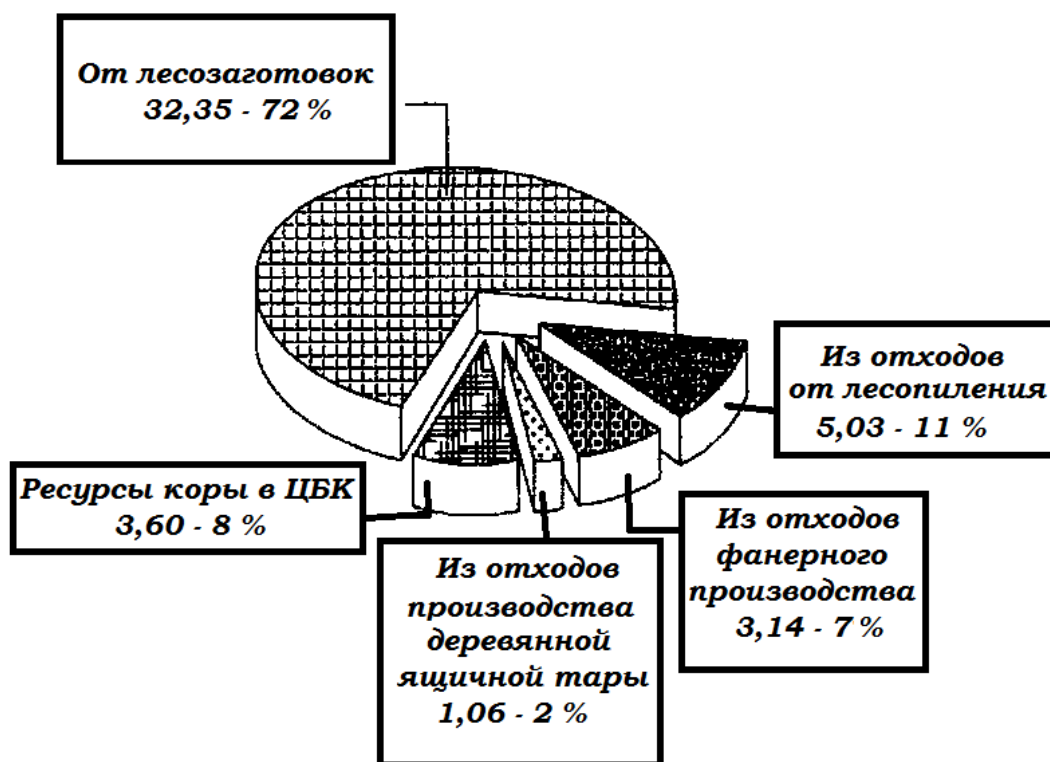


Рис. 93 – Ресурсы древесной биомассы, пригодной для энергетического использования в России (тыс. м<sup>3</sup>; %)

Ежегодно население России сжигает около 50 млн. м<sup>3</sup> дров, но только около шести млн. м<sup>3</sup> реализуется централизованно. Последние годы активно развивается индустрия улучшенного древесного топлива – древесных гранул (пеллет), которая в значительной степени ориентирована на экспорт. Приблизительно цена пеллет, произведенных в России 85€/т (2007 год), в то время как цена в Западной Европе 250–300 €/т, что, конечно, способствует развитию перепродажи и, как следствие, развитию производства.

Но развитие происходит не без проблем. Одна из них – проблема качества, связанная с гармонизацией стандартов в России и странах-потребителях.

Наиболее просто проблемы перевода предприятий на собственные источники тепловой и электрической энергии решаются на предприятиях деревообрабатывающих отраслей промышленности. К этому есть серьезные предпосылки:

- достаточно стабильное финансово-экономическое положение большинства предприятий;
- низкая себестоимость собственных древесных отходов;
- наличие на многих предприятиях паровых котельных, что снижает затраты на преобразование их в тепловые электростанции.

Следует также отметить, что деревообрабатывающие предприятия – это потребители как тепловой, так и электрической энергии, особенно те из них, которые работают круглосуточно по непрерывному графику – фанерные комбинаты, заводы древесных плит. Отсутствие достаточного количества собственного древесного топлива на заводах древесных плит легко восполнить поставками дровяной древесины. Перевод на собственные источники тепловой и электрической энергии заводов древесных плит актуален. Затраты на производство как технологической, так и топливной щепы можно снизить, заменив существующую технологию производства щепы из технологического сырья переработкой низкокачественных (дровяных) деревьев.

Целлюлозно-бумажная промышленность служит самой энергоемкой из отраслей лесопромышленного комплекса. На целлюлозно-бумажных комбинатах об-



разуется более 3,5 млн. м<sup>3</sup> коры, которая может быть использована в качестве источника энергии. Но, в настоящее время, в связи с применяющейся «мокрой» окоркой балансов, речь идёт не о производстве энергии, а об утилизации коры. Между тем, в США и Канаде широко применяется «сухая» окорка с применением роторных окорочных станков, окаривающих хлысты, и сучкорезно-окорочно-рубительных машин, вырабатывающих окоренную щепу непосредственно из деревьев. Выполнение обрезки сучьев с одновременной «сухой» окоркой стволов деревьев позволяет получить топливо – смесь сухой коры и измельченных сучьев кроны деревьев – со значительно более высокой теплотой сгорания, чем мокрая кора. За счёт использования ветвей и сучьев деревьев повышается степень использования биомассы. Экономический эффект реализации такого подхода повышается также за счёт упрощения технологического процесса производства щепы для ЦБП, совмещения выполнения ряда трудоёмких операций, исключения из технологического процесса операции раскряжёвки древесины и повышения выхода технологической щепы из длинномерного сырья. Выполненные технико-экономические исследования показали, что использование подобного оборудования в целлюлозно-бумажной промышленности имеет высокий экономический эффект.

Как уже отмечалось, на предприятиях лесозаготовительной промышленности сосредоточены более 70 % всех ресурсов древесного топлива. Но именно здесь имеют место и наибольшие проблемы в его использовании. Из-за слабого развития деревообрабатывающей промышленности проблема не может быть решена только путём поставки древесного топлива на холдингообразующие предприятия. Один из путей – использование древесного топлива непосредственно в леспромхозах. Для этого их необходимо преобразовать в лесокомбинаты, способные на месте перерабатывать всю заготовливаемую древесину и использовать вырабатываемую энергию. Это направление позволяет повысить эффективность работы предприятия за счёт следующих мер:

- строительства тепловой электростанции на древесном топливе и выработки собственной энергии, более дешевой, чем покупная;
- развития глубокой переработки древесины непосредственно в лесозаготовительном предприятии; решение этой задачи позволит повысить эффективность производства и эффективно использовать вырабатываемую тепловую и электрическую энергию;
- внедрения высокоэффективной технологии производства топливной щепы из дровяных деревьев на стационарной технологической линии, расположенной в непосредственной близости от склада топлива.

Эффективным может быть строительство районных ТЭЦ на древесном топливе, поставляемом группой лесозаготовительных предприятий. Решение этого вопроса должно быть увязано с общей энергетической политикой региона.

Комплексное рассмотрение технологических и энергетических проблем лесопромышленного комплекса весьма плодотворно. Развитие биоэнергетики, помимо обеспечения предприятий ЛПК собственной, более дешевой, чем покупная, тепловой и электрической энергией, открывает новые возможности для развития эффективных лесопромышленных технологий.

## Вопросы для самоконтроля

1. Укажите документы, регламентирующие работу с отходами в России
2. Что такое отходы производства и отходы потребления?
3. Какие существуют классы опасности отходов? Какова степень воздействия отхода при том или ином классе опасности на окружающую среду?
4. Что такое Федеральный классификационный каталог отходов?
5. Как классифицируются медицинские отходы?
6. Какие выделяют категории отходов, разделённых по гигиеническому принципу?
7. Как классифицируются отходы по признаку принципиального химического состава?
8. Сформулируйте группы органических отходов
9. Что такое полигон ТБО; из каких структурных элементов он состоит?
10. Кратко поясните устройство противотрассового экрана полигона
11. В результате чего происходит разложение отходов в местах их захоронения?
12. Как собирается и обезвреживается фильтрат, образующийся на полигонах ТБО?
13. В чём суть добычи и утилизации биогаза на полигонах ТБО?
14. Что включает в себя система мониторинга за полигоном ТБО?
15. Сформулируйте способы обращения с твёрдыми отходами, кроме их полигонного захоронения
16. Какие бывают основные рабочие органы измельчителей ТБО?
17. Назначение, устройство, ход работы молотковой шахтной мельницы
18. Назначение, устройство, ход работы вибрационной щековой дробилки
19. Назначение, устройство и принцип работы молотковой дробилки горизонтального типа
20. Назначение, устройство и принцип работы роторно-дисковой дробилки
21. Сформулируйте три направления сепарации ТБО
22. Что такое грохочение и какие три его разновидности существуют?
23. Назначение, устройство и принцип работы барабанного грохота
24. Назначение, устройство и принцип работы электромагнитного сепаратора шкивного типа
25. Что такое электродинамическая сепарация?
26. Назначение, устройство и принцип работы установки для извлечения цветных металлов из ТБО
27. Назначение, устройство и принцип работы аэросепаратора для сортировки ТБО в горизонтальном потоке воздуха
28. Назначение, устройство и принцип работы установки для отделения из ТБО текстильных и плёночных компонентов
29. Что такое управление ТБО?
30. Сформулируйте иерархические уровни обращения с отходами
31. Какие можно выделить принципы управления ТБО по критерию ресурсосбережения?
32. Что такое пластмассы (классификация пластмасс)?
33. Назначение, устройство и принцип работы специализированной печи для сжигания плавящихся отходов
34. Что такое пиролиз? В чём преимущества высокотемпературного пиролиза?
35. Из каких взаимосвязанных компонентов состоит технологическая схема Ландгард (поясните стадии, через которые проходят ТБО)?
36. На какие группы разделяется биотопливо, по Шведскому стандарту?

37. Кратко охарактеризуйте энергетические ресурсы мировых лесов
38. Как ранжируются отходы лесной биомассы (источники и типы отходов)?
39. В чём сущность получения жидкого моторного биотоплива?
40. Какие древесные породы выгоднее использовать для получения древесного угля, смол и летучих компонентов?
41. Укажите основные технологические стадии получения древесного угля
42. Дайте пояснения терминам «первичное биотопливо» и «вторичное биотопливо»
43. Какие полезные материалы получают из различных частей дерева?
44. Назовите основные отходы лесозаготовки и деревообработки
45. Сформулируйте классификацию отходов механической переработки древесины
46. Какие отходы образуются при производстве сульфатной целлюлозы?
47. Охарактеризуйте виды древесного топлива (дрова, опилки и другое)
48. Что такое поточная, специализированная и комбинированная схемы переработки кусковых отходов в топливную щепу?
49. Что такое топливные гранулы и пеллеты?
50. Назначение, устройство и принцип работы пресс-гранулятора
51. В чём заключается сущность брикетирования древесных отходов (технологическая линия)?
52. Дайте пояснения разным способам сжигания древесного топлива
53. Назначение, устройство и принцип работы ручной топки для дров с горизонтальной колосниковой решёткой
54. Назначение, устройство и принцип работы топки для дров с вертикальным слоем
55. Назначение, устройство и принцип работы шахтной топки с наклонным слоем для сжигания дров
56. Назначение, устройство и ход работы горизонтальной циклонной топки
57. Как воздействуют на экосистему факторы, влияющие на содержание усваиваемого азота?
58. Зачем необходим возврат золы в природу?
59. В чём сущность золы, как удобрения лесных почв?
60. Кратко охарактеризуйте ресурсы древесного топлива РФ по регионам
61. Какую выгоду принесёт использование древесного топлива в леспромхозах?

## Раздел 6. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОТХОДОВ АВТОТРАНСПОРТА

---

Общий мировой парк автомобилей насчитывает 800 млн единиц, из которых 83 – 85% составляют легковые автомобили, а 15–17% – грузовые и автобусы. Выставленные бампер к бамперу машины составили бы цепочку длиной в четыре млн км, которой 100 раз можно обернуть земной шар по экватору. Если тенденции роста выпуска автотранспортных средств останутся неизменными, то к 2015 году число автомобилей может возрасти до 1,5 млрд шт.

Автомобильный транспорт, с одной стороны, потребляет из атмосферы кислород, а с другой – выбрасывает в нее отработавшие газы, картерные газы и углеводороды из-за испарения их из топливных баков и негерметичности систем подачи топлива.

Автомобиль отрицательно воздействует практически на все составляющие биосферы: атмосферу, водные ресурсы, земельные ресурсы, литосферу и человека. Масштабы этого воздействия схематично представлены на рис. 94. Оценка экологической опасности через ресурсно-энергетические переменные всего цикла жизни автомобиля с момента добычи минеральных ресурсов, нужных для его производства, до рециклирования отходов после окончания его службы показала, что экологическая «стоимость» однотонного автомобиля, в котором примерно 2/3 массы составляет металл, равна от 15 до 18 т твёрдых и от 7 до 8 тонн жидких отходов, размещаемых в окружающей среде.

Выхлопы от автотранспорта распространяются непосредственно на улицах города вдоль дорог, оказывая непосредственное вредное воздействие на пешеходов, жителей расположенных рядом домов и растительность. Выявлено, что зоны с превышением ПДК по диоксиду азота и оксиду углерода охватывают до 90 % городской территории.

Автомобиль – самый активный потребитель кислорода воздуха. Если человек потребляет воздуха до 20 кг (15,5 м<sup>3</sup>) в сутки и до 7,5 т в год, то современный автомобиль для сгорания одного килограмма бензина расходует около 12 м<sup>3</sup> воздуха или в кислородном эквиваленте около 250 л кислорода. Так, весь автомобильный транспорт США потребляет в два раза больше кислорода, чем его регенерирует природа на всей их территории.

Таким образом, в крупных мегаполисах автомобильный транспорт поглощает кислорода в десятки раз больше, чем все их население.

Исследования, проведенные на автомагистралях Москвы, показали, что при тихой безветренной погоде и низком атмосферном давлении на оживленных автомобильных трассах сжигание кислорода в воздухе нередко повышается до 15% его общего объёма. Известно, что при концентрации кислорода (в %) в воздухе ниже 17 у людей появляются симптомы недомогания, при 12 и меньше возникает опасность для жизни, при концентрации ниже 11 наступает потеря сознания, а при шести – прекращается дыхание.

С другой стороны, на этих магистралях не просто мало кислорода, но воздух ещё насыщен вредными веществами автомобильного выхлопа. Исследования научно-исследовательских институтов нормальной физиологии показывают, что в Москве 92–95 % загрязнения воздуха дает автомобильный транспорт. Дым, выбрасываемый заводскими трубами, испарения химических производств, гарь от котельных и все прочие отходы деятельности большого города составляют примерно всего семь процентов общей массы загрязнений. Особенность автомобильных выбросов – это также то, что они загрязняют воздух на высоте человеческого роста, и люди дышат этими выбросами.



Таблица 23

Состав основных примесей в выбросах автотранспорта (в кг на тонну топлива)

Компонент выбросов	Двигатель	
	бензиновый	дизельный
Оксиды:		
углерода	395,0	9,0
азота	20,0	33,0
серы	1,6	6,0
Углеводороды	34,0	20,0
Альдегиды, органические кислоты	1,4	6,0
Твёрдые частицы (сажа)	2,0	16,0

В таблице 23 приведен состав основных примесей в выхлопных газах бензиновых и дизельных двигателей внутреннего сгорания.

### Основные направления и пути снижения вредных выбросов автотранспорта

Приоритетные направления снижения загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом – это:

- применение новых видов автотранспорта, минимально загрязняющих окружающую среду (например, электромобили);
- рациональная организация и управление транспортными потоками;
- использование более качественных или экологически чистых видов топлива (например, газ);
- применение совершенных систем – катализаторов топлива и систем шумоглушения – глушителей шума.

Все мероприятия по снижению выбросов автотранспортом подразделяют на технологические, санитарно-технические, планировочные; административные (рис. 95).



Рис. 95 – Мероприятия по снижению выбросов автотранспорта

## Разработка альтернативных видов автотранспорта

К основным альтернативным автомобильным видам транспорта относятся электромобиль, солнечный электрический автомобиль, автомобиль с инерционным двигателем.

Идеальный автомобиль для города – электромобиль. Он приводится в движение электродвигателем, который, в свою очередь, получает энергию от некоторого числа аккумуляторных батарей. Основные преимущества электромобиля перед автомобилем следующие:

- он почти не дает выбросов вредных веществ; токсичность газов, попадающих в атмосферу при зарядке и разрядке аккумуляторных батарей, несравнимо меньше, чем при работе двигателя внутреннего сгорания;
- обладает привлекательной для транспортных средств характеристикой: на малых скоростях вращения у него большой крутящий момент, что очень важно, когда нужно тронуться с места или преодолеть трудный участок дороги; кроме того, он предпочтительней с точки зрения удельной мощности и более компактен;
- не нуждается в столь тщательном уходе, как обычный автомобиль: требует меньше регулировок, не потребляет много масла, проще система охлаждения, а топливная вообще отсутствует;
- излучает значительно меньший шум, чем автомобили с дизельным или бензиновым приводом.

Солнечный электромобиль представляет собой комплекс, включающий электрический автомобиль и солнечный коллектор, который обеспечивает перезарядку аккумуляторной батареи во время его движения или стоянки. Автомобили, работающие на солнечной энергии, пока ещё являются предметом экспериментальных разработок, при этом разные модели значительно отличаются по конструкции, дизайну и рабочим характеристикам. Но все они имеют солнечные коллекторы, которые поглощают солнечный свет и превращают его в электричество. Затем, электричество хранится в батарее до тех пор, пока не потребуются для приведения в действие электродвигателя. С теоретической точки зрения солнечный автомобиль должен бы двигаться вечно, так как единственным необходимым для него топливом служит солнечный свет. Но серьёзным недостатком остается невозможность движения ночью или днём в условиях сплошной облачности. Автомобиль «Санрайдер», спроектированный и собранный на факультете механики и энергетики Кардиффского университета (Великобритания), весит около 90 кг, развивает скорость до 30 км/ч и работает на электричестве, вырабатываемом 300 солнечными батареями.

В автомобиле с инерционным двигателем в качестве накопителя энергии используется не аккумулятор, а маховик. Такое нововведение позволяет обойтись без двигателя, коробки скоростей, радиатора, стартера и выхлопной трубы. Идея конструктора такова. Электроток от стационарного источника используется для раскрутки супермаховика из легких, но прочных на разрыв углеродных волокон. Когда он наберёт обороты, напряжение отключается. Но, вращение продолжается несколько часов, поскольку супермаховик заключен в герметичную капсулу, из которой выкачан сопротивляющийся воздух, а магнитный подвес устраняет трение в подшипниках. Эксперименты в этой области показывают, что автомобиль с супермаховиком способен разогнаться до 96,5 км/ч всего за 6,5 секунд. Пробег без подзарядки также обещает быть впечатляющим – до 600 км.

**Организационно-технологическая схема утилизации отходов.** В общем виде схема утилизации представляет собой систему мер по управлению движением потоков ОАТС и комплексной их утилизации (рис. 96). Движение ОАТС начинается с площадок сбора данных отходов. Часть этих площадок, оснащенных

резательным и прессовым оборудованием для предварительной обработки отходов (для повышения эффективности их хранения и транспортировки), может быть преобразована в сортировочно-накопительные склады. Последние необходимы как для квалифицированной сортировки отходов, зачастую обуславливающей эффективность их дальнейшей переработки, так и для исключения экологически опасных компонентов ОАТС.

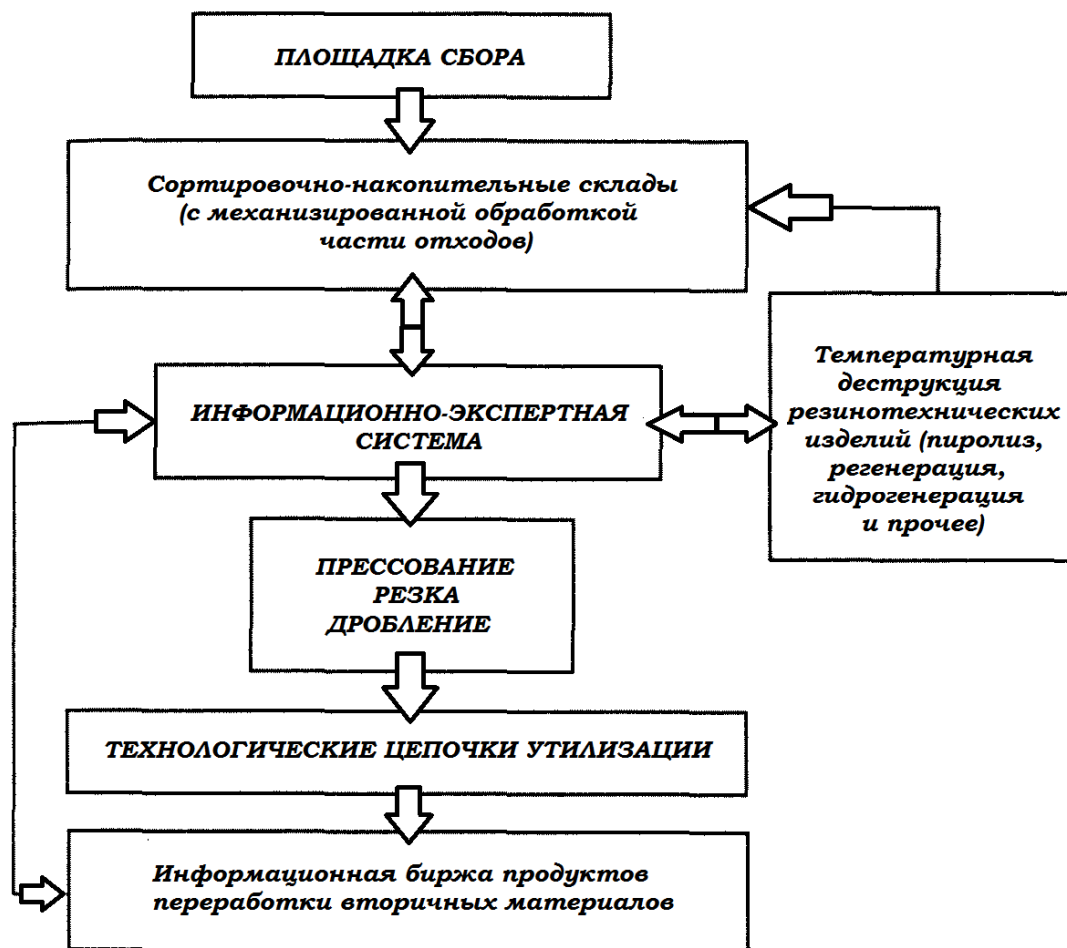


Рис. 96 – Организационно-технологическая схема утилизации отходов автотранспортных средств и транспортно-бытового обслуживания

Продуктивное и взаимовыгодное функционирование площадок сбора отходов и соответствующих сортировочно-накопительных складов предполагает развертывание информационно-экспертной системы (ИЭС), определяющей структуру, характеристики и объёмы вторичного сырья, необходимого переработчикам и другим потребителям.

### Вопросы для самоконтроля

1. Кратко охарактеризуйте мировой автомобильный парк и негативные последствия использования автомобилей
2. Выделите основные направления снижения вредных выбросов автотранспорта
3. В чём преимущества электромобилей перед автомобилем?
4. Назовите основные мероприятия по снижению выбросов автотранспорта
5. В чём технологическая суть утилизации отходов автотранспорта и транспортно-бытового обслуживания?



## Раздел 7. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОТХОДОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

### Ракетно-космические комплексы и технологические фазы осуществления космического полёта

**Структура ракетно-космических комплексов.** Ракетно-космический комплекс (РКК) – это совокупность функционально взаимосвязанных космических аппаратов и наземных технических средств, предназначенных для самостоятельного решения задач в космосе и из космоса или для обеспечения этих задач в составе космической системы. Как видно из рис. 97, РКК включает ракету-носитель, космический аппарат, технический комплекс, стартовый комплекс, средства измерительного комплекса космодрома и наземный комплекс управления космическим аппаратом.

**Космодром** – это комплекс специально подготовленных земельных участков с сооружениями и оборудованием, обеспечивающими сборку, подготовку к пуску и пуск ракетно-космических систем, измерения траектории их полета, выдачу команд, а также прием и обработку поступающей телеметрической информации. В состав космодрома также входят земельные или водные участки для падения отработавших ступеней ракет-носителей и для посадки возвращаемых космических объектов. Космодромы предназначены для подготовки и пуска ракетно-космических систем различного класса и назначения. Это позволяет концентрировать научные и экспериментально-исследовательские работы по ракетно-космическим программам, испытывать различные виды оборудования, экспериментально отрабатывать отдельные системы, наиболее эффективные составы ракетных топлив и прочее. При космодромах часто имеются производство отдельных видов ракетно-космической техники, конструкторские бюро и НИИ.



Рис. 97 – Структурная схема ракетно-космического комплекса

В настоящее время более десяти стран имеют свои программы освоения космоса. Среди них способны выводить аппараты в космос с помощью своих носителей Россия, США, Франция, Япония, КНР, Великобритания, Индия.

В табл. 24 приведены характеристики основных эксплуатирующихся сейчас космодромов.

**Ракетно-космические системы.** По своей структуре ракетно-космическая

система чаще всего представляет собой многоступенчатый комплекс, включающий несколько ракетных блоков и полезный груз, которым может быть космический корабль, космическая станция, искусственный спутник планеты, различного рода космические аппараты, предназначенные для функционирования на планетах и тому подобное.

Эта космическая система сообщает полезному грузу вторую (11,19 км/с) или третью (16,7 км/с) космическую скорость. Входящие в её состав блоки способны длительное время находиться в космическом пространстве и обеспечивать запуск ракетных двигателей в условиях невесомости.

Таблица 24

*Характеристики основных эксплуатирующихся космодромов*

Страна	Космодром	Число ракетноносителей (модификаций)	Число стартовых комплексов (пусковых установок)	Число монтажно-испытательных корпусов	Максимальный грузопоток на орбиту ИСЗ, т/год	Проектная производительность стартовых комплексов, шт. /год	Основные задачи и назначение запускаемых космических аппаратов
Россия	Плесецк	3	7(9)	9	130	570	Выполнение пилотируемых программ; оборонное, народнохозяйственное, научное назначение (связь, телевидение, геодезия и др.)
Казахстан	Байконур	6	9(150)	14	153	2196	Выполнение международных программ; оборонное, народнохозяйственное, научное назначение (связь, телевидение, геодезия и др.)
США	Восточный испытательный полигон Западный испытательный полигон	1(2) 4(5)	2(2) 6(7)	2 1	20 76	653 370	Оборонное, научное (связь, навигация, геодезия и др.) и коммерческое назначение
США	Космический центр им. Дж. Кеннеди	3(4)	3(6)	1	50	360	Выполнение пилотируемых и международных программ; оборонное, научное (связь, навигация, геодезия и др.) и коммерческое назначение

Окончание табл. 24

Китай	Чанченцзе Сичан	1	3(3) 2(3)	1 -	50 50	360 360	Научное, коммерческое и оборонное назначение
Франция	Куру	1 (3)	3(3)	2	50	360	Научное, коммерческое и оборонное назначение
Япония	Утиноура Танегасима	2 2	3(3) 3(3)	1 1	50 50	360 360	Научно-исследовательские и прикладные задачи
Индия	Шри-Харикота	1	1(1)	1	50	360	Научно-исследовательские и прикладные задачи

Идеальная скорость, соответствующая решению конкретной технологической задачи, называется характеристической разностью между действительной и характеристической скоростями, обусловлена влиянием силы тяжести, наличием атмосферы и угла атаки. Поэтому действительная скорость в конце активного участка составляет 75–85% характеристической. Например, для выведения искусственных спутников Земли (ИСЗ) с поверхности Земли на низкую орбиту нужна скорость 9,2 км/с, тогда как фактическая скорость на орбите – 7,9 км/с.

### **Техногенное воздействие на окружающую среду при эксплуатации ракетно-космической техники**

**Состав и свойства ракетных топлив.** Ракетное топливо – вещество или совокупность веществ, являющихся источником одновременно энергии и рабочего тела. В общем случае ракетное топливо должно обладать высоким удельным импульсом тяги, возможно, большей плотностью и стабильностью, совместимостью с конструкционными материалами, желательно невысокими токсичностью и пожароопасностью, иметь хорошую сырьевую базу и невысокую стоимость. В качестве топлива может быть использована почти вся периодическая таблица Менделеева, однако на практике спектр компонентов, применяемых на действующих и перспективных носителях, достаточно ограничен.

В ракетной технике основным видом топлива является химическое, то есть такое, которое в результате химической реакции окисления, разложения или рекомбинации образует высокотемпературные продукты, создающие реактивную тягу при своем истечении из ракетного двигателя.

В зависимости от агрегатного состояния компонентов химические ракетные топлива подразделяют на жидкое – для жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), твердое – для ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), а также гибридное. В настоящее время широко изучаются желеобразные и тиксотропные топлива. Для ракетносителей характерно применение жидкого двухкомпонентного топлива (табл. 25).

В качестве окислителя в жидких ракетных топливах используется жидкий кислород, тетраоксид азота, а в качестве горючего – несимметричный диметилгидразин (НДМГ), смесь НДМГ с гидразином (аэрозин), углеводородные горючие типа керосинов, водород.

Таблица 25

*Технические и экономические характеристики двухкомпонентных жидких ракетных топлив*

Топливо		Массовое соотношение компонентов топлива	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Окислитель	Горючее		
Кислород жидкий	Водород жидкий	5,56	-
	Керосин	2,73	300
	НДМГ	1,92	0,1
	Гидразин	1,0	0,1
Четырёхокись азота (ПДК = 5 мг/м <sup>3</sup> )	НДМГ	2,92	0,1
	Аэрозин-50	2,13	0,1
	Гидразин	1,44	0,1

**Топлива на основе жидкого кислорода.** В начальный период разработки ЖРД широко применялось топливо жидкий кислород-этиловый спирт, которое в дальнейшем было заменено парой жидкий кислород – керосин. Топливо кислород – керосин является дешёвым и надёжным, оно хорошо освоено в производстве и эксплуатации. На этом топливе обычно работают ЖРД больших тяг. Применяется на ракетах-носителях «Энергия», «Восток» (Россия), «Торад-Дельта», «Атлас – Центавр» (США), серия N (Япония).

Топлива на основе тетраоксида азота. При необходимости длительного хранения топлива наиболее широко используются: тетраоксид азота (АТ) – несимметричный диметилгидразин (НДМГ) и тетраоксид азота – смесь НДМГ с гидразином в соотношении 1:1. Эти топлива используются на отечественном носителе «Протон», носителе КНР «Великий поход», европейском «Ариан» (АТ –НДМГ), носителях США «Титан», «Дельта» (АТ – Аэрозин).

**Твердые топлива.** Относятся к классу унитарных, то есть содержащих горючее в смеси с окислителем. В качестве окислителя обычно используется перхлорат аммония, заподимеризованный с горючим связующим на основе полибутадиена и его модификаций. Для улучшения энергетических показателей в топливо добавляется металл, обычно алюминий.

В современных ракетных двигателях на твердом топливе наиболее широко используют гетерогенные смесевые твердые топлива, которые представляют собой механическую смесь твёрдых мелких частиц окислителя, порошка металла или его гидроксида, равномерно распределенных в органическом полимере, являющемся горючим и выполняющем одновременно роль связующего для твёрдых компонентов, а также вспомогательных компонентов, улучшающих технологические, механические, баллистические и эксплуатационные свойства топлив. В качестве окислителя применяют богатые кислородом соли азотной, хлорной кислот, а также взрывчатые органические нитросоединения. Наиболее широко в качестве окислителя применяют перхлорат аммония (в %):

Перхлорат аммония NH <sub>4</sub> ClO <sub>4</sub> (окислитель).....	69,60;
Порошок алюминия .....	16,00;
Синтетический каучук РВАН (сополимер полибутадиена, акрилонитрила и акриловой кислоты) .....	12,04;
Окись железа (катализатор скорости горения) .....	0,40;
Эпоксидная смола (агент полимеризации).....	1,96.

**Загрязнения окружающей среды при предстартовой подготовке и на активном участке полета.** Наиболее ответственные операции при предстартовой подготовке пуска ракетносителей – это заправка топливом и сжатыми газами. Эти операции выполняются автоматически, и вероятность возникновения нештат-

ных ситуаций и, соответственно, загрязнения окружающей среды определяется надежностью систем автоматического управления. При отмене запуска (или по другим причинам) осуществляется слив компонентов топлива из баков горючего и окислителя, из заправочных магистралей в хранилища.

Основное техногенное воздействие при предстартовой подготовке проявляется в виде загрязнения окружающей среды компонентами жидкого ракетного топлива и их парами.

Стартовым называют активный участок движения ракетносителя, на котором ракета сохраняет стартовое положение. Стартовый участок характеризуется мощной акустической нагрузкой как на ракету-носитель и космический аппарат, так и на окружающую среду.

Многочисленные экспериментальные данные и расчёты показывают, что на образование акустического поля затрачивается до одного процента кинетической энергии струи. Частотный спектр шума простирается от нескольких герц до десятков килогерц.

В настоящее время существует гипотеза того, что запуск сверхтяжёлых ракет-носителей служит стартовым импульсом крупномасштабных колебаний геофизической системы, причём энергия колебаний этой системы превышает энергию, выделившуюся при сгорании ракетного топлива. Частный вид колебаний – это волны деформации земной коры, способные спровоцировать землетрясения в наиболее напряжённых её участках, находящихся в зоне влияния запуска.

Истечение продуктов сгорания из сопла сопровождается мощным лучистым потоком в основном диапазоне видимых и инфракрасных длин волн. Плотность светового потока особенно велика для продуктов сгорания твёрдых ракетных топлив, для которых степень черноты достигает 0,8.

Существенным фактором экологической нагрузки на окружающую среду, как на стартовом участке работы двигателя, так и все время его работы на траектории является выброс продуктов сгорания. По модели переноса примесей в атмосфере с использованием данных о составе продуктов сгорания и их массе можно рассчитать как скорость переноса, так и время жизни антропогенных примесей в атмосфере.

При дальнейшем движении на активном участке полета по траектории ракетноситель проходит через тропосферу, стратосферу и нижнюю часть ионосферы (термосферу). Кроме перечисленных факторов техногенного воздействия на окружающую среду, на стартовом участке имеют место:

- специфические, наиболее значимые факторы воздействия на атмосферу на активном участке полета: это образование ударных волн и скачков уплотнения при движении ракетносителя, достигшего трансзвуковых и сверхзвуковых скоростей, и, как следствие, газодинамическое возмущение атмосферы;
- разрушение озонового слоя в стратосфере;
- уменьшение концентрации заряженных частиц в ионосфере; падение отработавших ступеней ракетносителя на Землю по трассам пуска и так далее.

**Районы падения по трассам пуска ракетносителей.** При движении ракетносителя по траектории последовательно отделяются стартовые ускорители, отработавшие ступени, головные обтекатели, переходные отсеки последующих ступеней и другие элементы конструкции, которые падают на поверхность Земли вдоль трасс пусков. Все они отделяются в разное время, различаются по массе, конфигурации и кинематическим параметрам (удалённости от точки старта, скорости, высоте, углу наклона траектории к земной поверхности и прочему). Это приводит к значительному рассеиванию отделяющихся частей по поверхности Земли. На местности на расстояниях от точки старта до 800 км при двухступенчатом и до 2500 км при трехступенчатом выведении образуются «пятна» возможного падения частей ракетносителя площадью 1500 – 5000 км<sup>2</sup> (табл. 26).

Учитывая то, что каждый ЖРД имеет гарантированный запас топлива, составляющий, как минимум, один-два процента, зоны падения ступеней с остатком токсичного топлива должны быть признаны областями вредного воздействия на окружающую среду. Для всех действующих в настоящее время космодромов такая поверхность Земли составляет миллионы квадратных километров.

Таблица 26

*Площади зон падения ступеней ракетносителей*

Ракетоноситель	Ступень	Параметры эллипса рассеивания (размеры осей), км	Площадь зоны, км <sup>2</sup>	Остатки топлива в баках ракет с токсичными компонентами окислитель/горючее, т
Энергия	1	30•60	565,9	-
	2	1700•100	53 407,0	-
Протон	1	50•30	4712,3	1,56/0,68
	2	110•60	20 734,5	0,48/0,21
Космос	1	—	—	0,3/0,1
	2	—	—	0,3/0,1
Циклон	1	50•30	4712,3	0,5/0,20
	2	240•80	60 318,6	0,15/0,05
Тайфун	1	50•20	3140,0	0,5/0,20
	2	200•100	62 800,0	0,15/0,05
Зенит	1	60•20	3769,9	—
	2	120•40	15 079,6	—
Союз, Молния	1	44•12	1659,7	—
	2	60•10	1885,0	—

**Озоновый слой Земли.** Озон разрушается в результате воздействия водяных паров, содержащихся в значительной мере в продуктах сгорания, а также оксидов азота, образующихся из азота и кислорода воздуха под действием высоких температур в факелах ракетных двигателей. И, практически, при полёте любого ракетносителя в озоновом слое образуется «окно». Изменения в озоновом слое под воздействием ракетных выбросов можно количественно оценить с помощью фотохимических моделей, достаточно подробно описывающих весь комплекс фотохимических превращений в тропосфере и стратосфере.

Модель разрушения озонового слоя при одиночном пуске ракетносителя «Энергия» можно представить следующим образом. В следе ракеты диаметром несколько сотен метров озон разрушается полностью на всех высотах практически мгновенно. Под влиянием макротурбулентной диффузии выброшенные вещества перемешиваются в столбе диаметром несколько километров за несколько часов. Содержание озона в этом столбе на высотах 16–24 км уменьшается на 15–20% через два часа, а затем происходит восстановление озона. Облако ракетных выбросов в атмосфере через неделю достигает нескольких сотен километров. Максимальное разрушение озона в облаке происходит на высотах 24–30 км примерно через 24 дня после прохождения ракетносителя. Одновременно в тропосфере и ионосфере происходит образование озона. С учётом компенсирующего положительного эффекта общее содержание озона в районе пуска ракетносителя «Энергия» (в пределах вертикального столба диаметром 550 км) снизится через 24 дня на 1,7% или в массовом отношении уменьшится на 27 тыс. т. В табл. 27 приведены данные о разрушении озонового слоя.

## Засорение околоземного и космического пространств

**«Космический мусор».** Каждый запуск полезной нагрузки в космос сопровождается образованием на орбитах нескольких десятков отделяющихся элементов и конструкций спутников и ракетносителей.

В результате аварий и взрывов на орбитах спутников и последних ступеней ракетносителей, столкновений между спутниками и их обломками, отслаивания теплозащитных покрытий, выбросов двигательных установок и прочее околоземное пространство быстро наполняется объектами искусственного происхождения (ОИП), которые получили название «космического мусора». За годы космической эры на околоземных орбитах было зарегистрировано свыше 20 тыс. космических объектов искусственного происхождения размером более десяти сантиметров.

Таблица 27

Диаметр зоны разрушения озона при реакции с СО на разных высотах, км

Ракета-носитель	Высота, км			
	20	30	40	50
Ариан-4	0,9	1,0	2,6	9,2
Протон	1,2	1,4	3,5/2,7	9,7
Атлас	1,5	1,7	4,3	15,3
Титан	4,6	5,4	13,5/1,7	6,0
Спейс-Шаттл	3,6	4,3	10,7/0	0
Энергия	3,2	3,8	9,5/0	0
Дельта	2,9/1,8	1,3	3,2/0,8	2,8
Скаут	1,2/0,9	1,0	2,5/1,2	4,3

Согласно данным Службы наблюдения за космосом США, на начало 1992 года на околоземных орбитах и в межпланетном пространстве общее число ОИП, за которыми ведутся наблюдения, составляют более 7200. Из них только 5 % – функционирующие ИСЗ, 23 % – исчерпавшие свой ресурс ИСЗ, 10 % – отработавшие ступени ракетносителей. Остальные 62 % – фрагментарные останки ракетно-космических систем. В числе 7200 объектов 58 спутников (действующих и отказавших) имеют на борту в энергетических и двигательных установках радиоактивные материалы общей массой более тонны.

Космический мусор не ограничивается только зарегистрированными объектами. Экстраполяция с помощью имеющихся математических моделей показывает, что число фрагментов размером до 40 мм составляет свыше 18 тыс. Кроме того, накопилось 50–70 тыс. частиц размером один-два сантиметра. Количество ещё более мелких частиц оценивается десятками миллионов.

Основная опасность космического мусора связана с космическими скоростями столкновения орбитальных фрагментов с космическим аппаратом. Например, летящая в космосе частица диаметром 0,5 мм может пробить космический скафандр, даже если он изготовлен из многослойного материала. Наиболее высокая концентрация фрагментов наблюдается в диапазоне высот от 300 до 1600 км, где вероятность столкновения космического аппарата с мелким осколком стала приближаться к вероятности столкновения с метеоритом тех же размеров. При достигнутом росте засорения космоса вероятность столкновения станции типа «Мир» с опасным осколком размером десять миллиметров и более прогнозировалась в 2000 году как один раз в 17 лет, а в 2010 и 2020 годах уже как один раз в семь лет и в два года, соответственно. Согласно оценкам, за 17 лет (с 1978 по 1995 год) вероятность столкновения увеличилась более чем вдвое.

Одним из способов предотвращения столкновений с фрагментами «мусора» (размером более 40 мм) служит постоянное слежение за ним с помощью радиоло-

кационных и оптических средств и раннего предупреждения опасности.

Существует естественный фактор, который способствует решению со временем проблемы космического мусора, своего рода защитная реакция околоземного космоса: если выбросы мусора прекратятся, то рано или поздно произойдёт «самоочищение» космоса под воздействием возмущений различной природы – сопротивления атмосферы и светового давления.

Известны физические и математические модели самоочищения космоса, разработана программа возможных мероприятий по очистке космоса от мусора. Тем не менее, в настоящее время единственным остается путь самоочищения космоса от мусора.

### **Снижение техногенного воздействия на технологических фазах выведения космического аппарата на орбиту и его посадки**

**Предстартовая подготовка.** Из всех операций, связанных с предстартовой подготовкой космического аппарата к полёту (сборка, транспортировка, установка на стартовой позиции и прочее), наиболее вредна заправка ракеты-носителя топливом (для ЖРД) и сжатыми газами, которая, как правило, производится автоматически. В случае отмены полёта компоненты топлива сливаются полуавтоматически (автоматическая система, включающая человека как элемент). Заполнение хранилищ топливом, термостатирование и барботирование топлива, слив из заправочных магистралей проводятся оператором вручную.

Жидкие ракетные топлива токсичны (ПДК от 0,1 мг/м<sup>3</sup> для гептила, гидразина и аэрозина до 300 мг/м<sup>3</sup> для керосина), пожароопасны, коррозионно-активны и обладают повышенной летучестью и испаряемостью. Поэтому при заправке и сливе топлива предусматривают как нейтрализацию топлива, так и обмывочные операции.

Пары и жидкую фазу окислителя нейтрализуют поглотителями, а пары окислителя и горючего – дожиганием в специальных аппаратах. При обмывочных операциях водой или нейтрализующими компонентами удаляют топливо, пролитое на обшивку ракеты-носителя или пусковую установку. Загрязненная вода аккумулируется в специальных резервуарах, где очищается и обезвреживается.

**Активный участок полёта.** В общем случае под активным участком полёта понимают процесс доставки космического аппарата с помощью ракеты-носителя с места старта в заданную область космического пространства (время активного участка полёта – время работы ракетных двигателей). В активном участке полёта выделяют стартовый участок – начальный участок движения ракеты-носителя, на котором она сохраняет стартовое положение. Это один из наиболее ответственных участков активного полёта, хотя его продолжительность составляет всего несколько секунд. На нем необходимо обеспечить отсутствие соударений ракетносителя с элементами пускового сооружения, причиной которых могут быть ветровая нагрузка на ракетноситель, несинхронность выхода отдельных ракетных двигателей на режим, а также возмущения, вызванные погрешностями монтажа отдельных агрегатов и отсеков ракетносителя.

Техногенное воздействие указанных факторов на стартовом участке снижается с помощью технических мероприятий, предусмотренных ещё в проекте строительства космодрома, – это защита расстоянием и защитные технические сооружения. Зона воздействия шума уменьшается лесопосадками. Для населённых пунктов в районе космодрома устанавливается предельный уровень звукового давления в 115 дБА.

В стратегическом плане техногенное воздействие на окружающую среду можно значительно снизить, используя новый проект космодрома, разработанный японским концерном «Тай-сан» и позволяющий значительно обезопасить старт



космических кораблей, увеличить их грузоподъёмность и одновременно экономить топливо. Специалисты из Японии предлагают отправлять в космос корабли с помощью гигантской конструкции, внешне напоминающей пирамиду (высотой 2100 м), и специальных электромоторов. В течение ближайших трех лет Японский космический центр намерен провести эксперименты по практическому воплощению проекта «Тайсан». К вершине пирамиды ведёт бетонная дорога со стальной колеёй. Линейные электромоторы дадут возможность начать старт без использования топлива. После «бега» по бетонно-стальной дорожке корабль катапультируется и отправится в полёт с помощью своего носителя. Энергию для требуемой электротяги будет поставлять Солнце. По расчётам экспертов, достаточно всего 12 дней или 120 ч яркого солнечного света, чтобы всё было готово к старту.

Место будущих полетов выбрано не случайно. Остров Рождества, расположенный в Тихом океане, привлёк внимание японских специалистов по ряду причин. Во-первых, этот небольшой островок находится близко к экватору, что даёт лучшие стартовые возможности, чем мыс Канаверал. Во-вторых, солнце здесь ярко светит 325 дней в году.

Каких-либо средств защиты от выбросов продуктов сгорания в атмосферу при работе ракетного двигателя пока нет.

Вопросам разрушения озонового слоя Земли уделяется достаточно большое внимание. Но до сих пор действующих средств защиты озонового слоя от воздействия ракетносителя пока нет. Предложено компенсировать снижение концентрации озона в зоне прохождения ракетносителя с помощью специально разработанных озонаторов, либо устанавливаемых на его борту, либо размещаемых в атмосфере по траектории его движения.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Из каких элементов состоит ракетно-космический комплекс?
2. В каких странах и сколько космодромов существует?
3. Как влияют на окружающую среду жидкие ракетные топлива?
4. Какие загрязнения окружающей среды можно выделить во время предстартовой подготовки и на активном участке полёта космического аппарата?
5. Как нарушается озоновый слой земли при пусках космических аппаратов?
6. Охарактеризуйте засорение околоземного и космического пространств
7. Как снизить техногенное воздействие пусков космических аппаратов?

## Раздел 8. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

### ЗАЩИТА ОТ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

#### Источники и масштабы загрязнения окружающей среды

Среди глобальных проблем современной экологии (парниковый эффект, разрушение озонового слоя, загрязнение воды и атмосферы, радиоактивные отходы и другое) акустическое загрязнение – одно из наиболее тревожных, поскольку не меньше влияет на людей, чем, например, разрушение озонового слоя или кислотные дожди. Неблагоприятное акустическое воздействие в той или иной мере, по-видимому, ощущает каждый второй человек на планете. Широкое внедрение в промышленность новых интенсивных технологий, рост мощности и быстроходности оборудования, широкое использование многочисленных средств наземного, воздушного и водного транспорта, повсеместное применение разнообразного электрифицированного бытового оборудования – все это привело к тому, что человек – на работе, в быту, на отдыхе, при передвижении и в прочих условиях, подвергается многократному воздействию вредного шума.

Основные источники акустического загрязнения окружающей среды – транспорт, строительство, промышленные предприятия. Удельный вклад этих источников варьируется в определённых пределах для различных городов и населенных пунктов, но основным остается автомобильный транспорт. Так, в Риме (это один из самых шумных городов в мире) доля акустического загрязнения (в %) от автомобильного транспорта составляет 75, железнодорожного – около 8, от авиатранспорта и строительства – 12, от промышленных объектов – 5. В мегаполисах шум находится в пределах от 65 до 80 дБА:

Город	Эквивалентный уровень звука (УЗ), дБА
Пекин .....	65
Мехико, Мадрид, Париж .....	70
Гонконг, Нью-Йорк, Москва .....	75
Рим, Берлин .....	80

Население большинства крупных городов (не менее чем 60%) живёт в условиях акустического загрязнения, параметры которого существенно превышают допустимые нормы.

Повышенный шум – источник многочисленных жалоб. Например, в Германии свыше 75 % населения жалуется на повышенный шум. Не удивительно, если учесть, что, по данным специалистов, только в объединенной Европе свыше 130 млн человек подвергаются действию шума уровнем более 65 дБА, а 400 млн – шума, уровень которого более 55 дБА, то есть выше нормативных значений.

#### Основные представления о звуке и шуме

**Шум** – случайное сочетание звуков различной интенсивности и частоты; мешающий, нежелательный звук. **Звук** – это упругие волны, распространяющиеся в упругой среде, колебания в среде, вызванные каким-либо источником. **Звуковое поле** – область среды, в которой распространяются звуковые волны.

Звук характеризуется звуковым давлением, скоростью распространения,

длиной волны, частотой и интенсивностью.

В звуковом поле есть деформации разрежения и сжатия, что приводит к изменению давления в любой точке среды по сравнению с атмосферным; разность между этими давлениями звукового поля называется звуковым давлением. Скорость распространения звука зависит от характеристик среды, в которой распространяется звук. При температуре 20 °С скорость звука в воздухе равна 344 м/с.

### **Классификация средств и методов защиты от шума**

**Основные направления шумозащиты.** Для снижения акустического загрязнения окружающей среды используют:

- замену шумных источников и технологий на малошумные;
- изменение направленности излучения шума источником;
- снижение шума по пути распространения от источника до защищаемого от шума места;
- комплекс средств защиты от шума в шумном агрегате, транспортном средстве;
- архитектурно-планировочные меры в жилой застройке;
- организационные мероприятия;
- улучшение качества воспринимаемого звука;
- новые акустические технологии.

**Снижение шума в источнике путём изменения его направленности.** Замена шумных источников на малошумные – одна из самых кардинальных мер борьбы с шумом. Например, замена двигателя внутреннего сгорания на электродвигатель существенно снижает внешний шум автомобилей, строительных машин и другое. Электромобиль на 15–20 дБА менее шумен, чем автомобиль с дизельным двигателем. Примером удачного использования малошумной технологии можно считать погружение свай с помощью бурения, что позволяет снизить шум по сравнению с вибропогружением или ударным погружением на 30–40 дБА. Можно привести и другие примеры снижения шума в источнике образования. Например, шум, генерируемый шинами автомобиля при движении, может быть снижен на 3 – 4 дБА при замене асфальтового покрытия на специальные покрытия с содержанием резины. Шум при качении колеса по рельсам можно ослабить на 8 – 10 дБА, снизив волнообразный износ рельсов путём их шлифования.

В общем случае ослабление шума в источнике обеспечивается уменьшением силового воздействия в источнике или звукоизлучающей способности элементов источника шума. В первом случае уравнивают вращающиеся части, увеличивают время соударения деталей, уменьшают зазоры в сочленениях и соединениях, а также частоту вращения, линеаризуют (сближают) аэродинамические и гидравлические потоки, снижают скорость движения. Во втором демпфируют вибрирующую поверхность, излучающую звук, уменьшают площадь звукоизлучения, нарушают синфазность колебаний излучающей поверхности, увеличивают коэффициент потерь материалов, из которых изготавливаются детали источника шума.

Снижение шума в окружающей среде путём изменения направленности излучения основано на том, что некоторые источники шума (в основном аэродинамического происхождения) неравномерно излучают шум в окружающее пространство. Показатель направленности, например, для реактивной струи может достигать 10–15 дБ, поэтому при направлении среза струи в сторону, противоположную защищаемому объекту, на это значение может быть уменьшен шум в окружающей среде. Несколько меньший эффект (до 5 дБ) может быть достигнут при направлении, например, среза трубы для сброса воздуха или отверстия воздухозаборной шахты в сторону, противоположную жилому району.

**Снижение шума на пути его распространения.** Для снижения шума на

пути распространения используются два принципа: защита расстоянием, которое обеспечивает затухание звука в пространстве, и установка на пути распространения сооружений, которые обеспечивают отражение звука. В частности, при удвоении расстояния от точечного источника звука, например, со 100 до 200 м или с 500 до 1000 м шум уменьшается на шесть дБА. Если источник шума протяжённый, линейный (например, движущийся поезд), то на расстояниях, сравнимых с его длиной, действует закон снижения шума на три дБА при удвоении расстояния.

Основной конструкцией, снижающей шум на пути от источника до защищаемого объекта (жилого района), служат акустические экраны (АЭ) или иные сооружения, которые могут дать экранирующий эффект, например дома, стенки, выемки или зелёные насаждения (рис. 98).

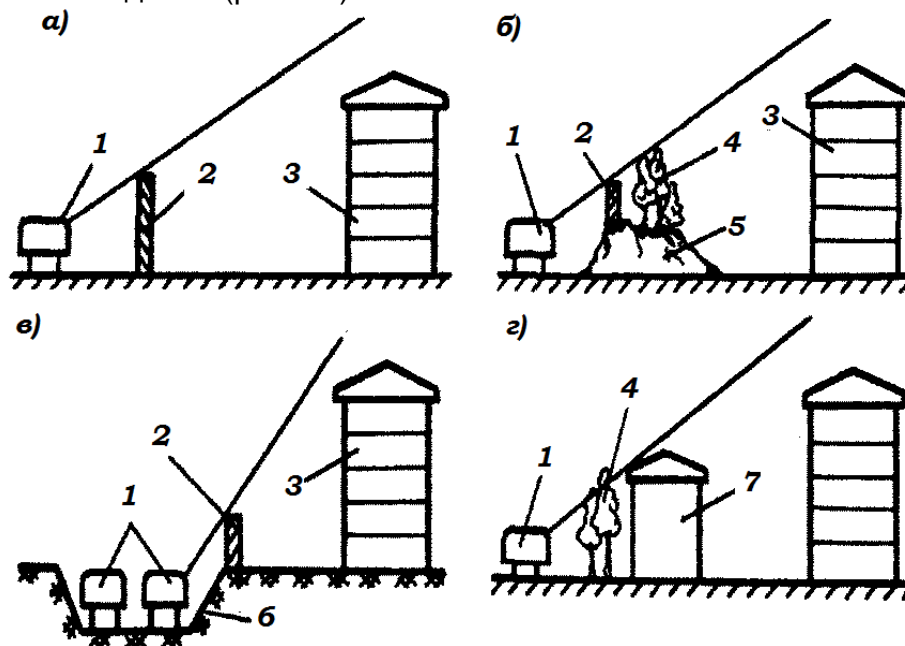


Рис. 98 – Экранирующие сооружения для защиты от шума на пути его распространения:

- 1 – источник шума; 2 – АЭ; 3 – защищаемое здание;  
 4 – зелёные насаждения; 5 – насыпь; 6 – выемка;  
 7 – вспомогательное здание – экран

Принцип работы акустического экрана основан на создании зоны звуковой тени за ним в результате частичного отражения звука от его поверхности. Эффективность АЭ или экранирующего сооружения ухудшается из-за огибания (дифракции звуковых волн) препятствия между источником звука и защищаемым от шума объектом. Дифракция возрастает с увеличением длины звуковой волны и снижается при увеличении размеров АЭ. Эффективность экранирующих сооружений (в дБА) ориентировочно составляет (в зависимости от размеров и других особенностей): АЭ и насыпи – 5–15; зелёных насаждений – 3–8; выемки – до 25–30; зданий (экранов) – 15–20.

Акустические экраны устанавливаются вдоль автодорог, железнодорожных магистралей, вблизи аэропортов. Длина АЭ, установленных в США, Германии, Японии, Швейцарии, Италии, Франции и других странах, достигает десятков тысяч километров. Их изготавливают из бетона, стекла, дерева, металла, пластика, старых покрышек и других материалов высотой, в зависимости от назначения и места установки, от двух-четырёх (автодороги) до 20 – 25 м (аэропорты).

**Шумовиброзащитные конструкции.** Источниками излучения шума в окружающую среду служат автомобили, самолёты, суда, строительные машины и

установки, пневмоинструмент, воздухозаборные шахты, компрессоры, трамваи, троллейбусы и другое. Шум, в основном, возникает в результате совершения работы или движения. Для снижения шума от таких источников применяется комплекс мер. Для перечисленных примеров характерно образование механического шума (двигатели внутреннего сгорания, компрессоры и прочее), аэродинамического (выхлоп и всасывание двигателей, реактивная струя, обтекание движущегося с большой скоростью транспортного средства), электромагнитного (электродвигатели, генераторы), ударного (падение ударной части на сваю, качение колеса по рельсу), гидродинамического (гидронасосы, гидромоторы). Все средства шумозащиты от работы этих источников можно свести к трем основным принципам действия: отражение, поглощение звука (вибрации) или комбинированные.

По принципу действия средств шумовиброзащиты выделяют:

➤ звукоизоляцию, которая основана на отражении звуковых волн от плоской массивной протяжённой преграды. Основные звукоизолирующие конструкции – звукоизолирующие капоты (кожухи), перегородки, кабины;

➤ звукопоглощение, которое основано на поглощении звуковых волн при их падении на плоскую, мягкую, пористую или волокнистую поверхность. Основная конструкция – звукопоглощающая облицовка в замкнутых объёмах (помещениях, капотах и другом);

➤ виброизоляцию, которая основана на отражении вибрации в устройствах, называемых виброизоляторами. Конструкции виброизоляторов – резиновые, резинометаллические, пружинные, пневматические;

➤ вибродемпфирование, основанное на поглощении вибрации в вибродемпфирующих покрытиях, которые снижают как амплитуду колебания демпфируемой пластины, так и её звукоизлучение. Вибродемпфирующие покрытия бывают мягкими, жёсткими и комбинированными.

Глушители шума также основаны или на отражении звуковой энергии (реактивные), или на её поглощении (абсорбционные), или на их комбинации (комбинированные).

Отметим, что эффективное использование перечисленных средств защиты от шума возможно только в комплексе. Например, для снижения наружного шума автомобиля применяются глушители на выхлопе и всасывании ДВС, звукоизолирующий капот на ДВС, установка АЭ на элементах капота и на шумящих агрегатах либо двигателя на резинометаллических виброизоляторах, а также демпфирование металлических конструкций и прочее. Такой комплекс защитных устройств позволяет ослабить шум на 20–25 дБА. В то же время, опыт использования супершумозаглушённых передвижных компрессорных станций (именно к этим агрегатам предъявляются особенно строгие требования по шумоглушению) показывает, что в них внешний шум удается снизить до 30–35 дБА за счёт дополнительных затрат, которые могут достигать 40 % их стоимости.

### **Экономика и практика шумозащиты**

Общество платит за борьбу с шумом очень высокую цену: по разным оценкам от 0,2 до 2,0 % валового национального продукта (ВНП). Только для объединённой Европы ущерб в 0,65 % ВНП составляет 36 млрд евро. В Германии, например, стоимость борьбы с шумом определена из расчёта десять евро на каждый один дБ снижения шума (на одного человека в год). Только стоимость установки одного километра акустического экрана составляет около 1,3 млн евро.

В современных автомобилях стоимость средств защиты от шума, обеспечивающих акустический комфорт, может достигать 10% стоимости автомобиля, в пассажирских реактивных самолётах – 25% стоимости. Для современных пере-

движных компрессорных станций, где требования к шумозащите особенно велики, стоимость шумозащиты достигает 40% стоимости изделия.

В настоящее время достигнуты определённые успехи в снижении шума, особенно от транспортных средств, причём за последние 20 – 30 лет наметилась тенденция непрерывного снижения шума (с разной степенью интенсивности) в автомобилях, поездах, самолётах и прочем.

Нетрудно заметить, что за 20 лет ужесточение нормативных требований, а значит, и фактическое снижение шума составило 8–11 дБА, или в два раза по субъективному ощущению громкости. В действительности в лучших образцах автомобилей наблюдается даже большее снижение, чем это предписано нормативными документами. Для примера сравним фактические значения шума лучших образцов автомобилей, строительных машин и скоростных поездов:

Источники шума	Уровни звука, дБА
Легковые автомобили.....	70 – 72
Грузовые автомобили.....	77 – 79
Строительные машины.....	73 – 78
Скоростные поезда.....	75

Снижение шума автотранспорта достигнуто применением комплекса средств, включая установку эффективных глушителей на выхлопе и всасывании ДВС, источников с пониженной шумностью, а также гидропередатчиков; звукоизолирующих капотов и акустических экранов на основные источники шума; виброизоляцию силовых установок, вибродемпфирование и звукопоглощение в средствах шумозащиты, их тщательную акустическую герметизацию. Для примера – схема шумозащиты передвижной компрессорной станции пониженной шумности (65 дБА), уровень звука снижен практически на 25 дБА.

Достижения реактивной авиации в области акустики объясняются применением двухконтурных турбореактивных двигателей с большой степенью двухконтурности, установкой эффективных систем шумоглушения.

В современной авиации, как, пожалуй, ни в одной области техники, акустическое загрязнение едва ли не основной показатель качества воздушного судна (ВС). Во всех крупнейших аэропортах мира задействована четкая политика сборов, основными критериями для взимания которых служит взлётная масса ВС и характеристика создаваемого им шума. Такая политика, поддерживаемая хорошо продуманным и всегда выполняемым законодательством, ведёт к впечатляющим успехам. Нужно отметить, что новые отечественные самолёты ТУ-204, ИЛ-96-300, ИЛ-114 соответствуют требованиям международных стандартов по шуму.

Опираясь на научные и другие достижения в области технической акустики, а также потребности общества, можно прогнозировать дальнейшее снижение шума в городах и населённых пунктах, но вместе с тем темпы обесшумливания будут снижаться. Достигнув определённых минимальных уровней, дальше шум снижается с большим трудом, при этом затраты на каждый последующий децибел могут быть сравнимы с затратами на три – пять дБ предыдущих, поскольку они растут, как правило, не линейно, а по экспоненте.

Основное условие снижения шума – это возможные или целесообразные затраты, на которые может пойти производитель или общество для дальнейшего снижения акустического загрязнения окружающей среды. Границей наших возможностей будет минимально достижимый шум, то есть такие его значения, которые нельзя уменьшить или без принципиального изменения принципа работы устройства, или без существенных затрат. То есть борьба с шумом будет определяться или новыми научными разработками, или существенными затратами.

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ (ЭМП) И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Результаты современных исследований свидетельствуют, что все живые организмы – от одноклеточных до высших животных и человека – обнаруживают исключительно высокую чувствительность к электрическим и магнитным полям, параметры которых близки к естественным параметрам полей биосферы. Многочисленными статистическими данными показано, что ЭМП естественных источников (геомагнитные поля, атмосферные разряды, излучения звезд и галактик) существенно влияют на формирование биологических ритмов. Выявлены достаточно достоверные взаимосвязи между солнечной и геомагнитной активностью и ростом числа гипертонических кризов, инфарктов миокарда, психопатологических расстройств.

В последнее время проблема взаимодействия человека с ЭМП становится весьма актуальной в связи с интенсивным развитием радиосвязи и радиолокации, расширением сферы применения электромагнитной энергии для выполнения технологических операций, массовым распространением бытовых электрических и радиоэлектронных устройств.

Если ещё 20–25 лет назад проблемы защиты от электромагнитного облучения относились в основном к производственным условиям (персонал радиолокационных станций (РЛС), операторы технологических установок), то на сегодняшний день большинство населения фактически живет в ЭМП искусственной (антропогенной) природы, обладающих весьма сложной пространственной, временной и частотной структурой.

Искусственные источники создают ЭМП значительно бóльших интенсивностей, чем естественные. Клинико-физиологическими исследованиями установлено, что ЭМП искусственного происхождения играют определённую роль в развитии сердечно-сосудистых, онкологических, аллергических заболеваний, болезней крови, а также могут оказывать влияние на генетические структуры. При систематическом воздействии ЭМП вызывают выраженные изменения в состоянии здоровья населения, в том числе у лиц, профессионально не связанных с источниками ЭМП, причём эффекты воздействия слабоинтенсивных полей могут носить отдаленный характер. Отмечена высокая чувствительность и поражаемость нервной системы, хрусталика глаза, семенных желез у мужчин, выявлены нарушения функциональной регуляции всех звеньев эндокринного аппарата, нарушение липидного обмена и ряд других отклонений. Значительное число работ свидетельствует об отрицательном воздействии ЭМП на генетические структуры, клеточные мембраны, иммунную систему, гормональный статус. В публикациях последних лет активно обсуждается вопрос о канцерогенной опасности ЭМП так называемой «промышленной» частоты – 50 Гц в России и Европе, 60 Гц в Америке.

Электромагнитные излучения антропогенных источников («электромагнитное загрязнение») представляют большую сложность с точки зрения, как анализа, так и ограничения интенсивностей облучения. Это обусловлено следующими основными причинами:

1. В большинстве случаев невозможно ограничение выброса загрязняющего фактора в окружающую среду;
2. Невозможна замена данного фактора на другой, менее сильный;
3. Невозможна «очистка» эфира от нежелательных излучений;
4. Неприемлем методический подход, состоящий в ограничении ЭМП до природного фона;
5. Вероятно долговременное воздействие ЭМП (круглосуточно и даже на протяжении ряда лет);

6. Возможно воздействие на большие контингенты людей, включая детей, стариков и больных;

7. Трудно статистически описать параметры излучений многих источников, распределенных в пространстве и имеющих различные режимы работы.

В последнее время проблема электромагнитной безопасности приобретает социальное значение. Ситуация осложняется тем, что органы чувств человека за редчайшими исключениями не воспринимают ЭМП до частот видимого диапазона, в связи с чем без соответствующей аппаратуры оценить степень опасности облучения практически невозможно.

**Классификация электромагнитных полей.** По энергетическому спектру их различают:

- синусоидальные (монохроматические);
- модулированные;
- импульсные;
- флуктуационные (шумовые).

По виду источника принято разделять ЭМП от естественных источников земных и внеземных и ЭМП от искусственных (антропогенных) источников.

По видам воздействия различают ЭМП:

- изолированное (от одного источника);
- сочетанное (от двух и более источников одного частотного диапазона);
- смешанное (от двух и более источников различных частотных диапазонов);
- комбинированное (в случае одновременного действия какого-либо другого неблагоприятного фактора).

Отношение облучаемого лица к источнику облучения может быть профессиональным, то есть связанным с выполнением производственных операций, и непрофессиональным (прочее население).

Отдельную группу составляют люди с имплантированными электронными кардиостимуляторами; в некоторых странах (например, в Германии) разработаны специальные гигиенические стандарты для этой категории населения.

При облучении тела различают общее облучение, когда воздействию электромагнитного поля подвергается все тело, и локальное (местное), когда электромагнитное поле воздействует преимущественно на какие-либо части тела.

По времени облучение может быть постоянным и прерывистым.

### **Электромагнитные поля естественных источников**

Все естественные источники ЭМП разделяют на две категории: земные и внеземные. К первым относят электрические и магнитные квазистатические поля Земли, атмосферные разряды, а также излучения живых организмов, ко вторым – излучения звезд, планет и галактик.

Электрическое поле Земли направлено нормально к земной поверхности, заряженной отрицательно относительно верхних слоев атмосферы. Напряжённость электрического поля у поверхности Земли составляет 120–130 В/м и убывает с высотой примерно экспоненциально. Годовые изменения электрического поля сходны по характеру на всем земном шаре: напряжённости максимальны в (до 150–250 В/м) январе-феврале и минимальны (100–120 В/м) в июне-июле. Суточные вариации электрического поля в атмосфере определяются, главным образом, грозовой деятельностью.

Магнитное поле Земли имеет две пространственные составляющие: горизонтальная – максимальна у экватора (20–30 А/м) и убывает к полюсам от двух до десяти А/м, а вертикальная – у полюсов составляет 50–60 А/м, уменьшаясь к эква-



тору до пренебрежимо малого значения. На напряжённость магнитного поля в конкретной точке влияют так называемые «магнитные аномалии» в некоторых районах Земли, а также излучения Солнца.

Частотный спектр атмосферных разрядов лежит в диапазоне от сотен герц до примерно 30 МГц. Максимум интенсивности находится вблизи 10 кГц. Данный вид ЭМП определяется электрическими грозовыми разрядами и полярными сияниями. Во время вспышек на Солнце интенсивность атмосферных разрядов усиливается.

К земным же источникам относятся излучения живых организмов. На сегодняшний день известно семь разновидностей ЭМП, излучаемых человеком в окружающую среду. Наиболее интенсивные из них – электростатические поля, создаваемые электризацией и трением поверхности тела человека. С появлением тканей из искусственных полимеров генерация статических зарядов на коже увеличилась, напряжённость создаваемых электростатических полей составляет до пятидесяти кВ/м на расстояниях 10–20 см. Следует отметить низкочастотные (доли герца) колебания с частотой дыхания, а также ЭМП, вызванные биоэлектрической активностью сердца (спектр простирается от долей герца до 100–120 Гц, а при высокой частоте сердечных сокращений – до 470 Гц).

### **Электромагнитные поля искусственных источников**

Любое техническое устройство, использующее либо вырабатывающее электрическую энергию, является источником ЭМП, излучаемых во внешнее пространство. Особенность облучения в городских условиях – это воздействие на население как суммарного электромагнитного фона (интегральный параметр), так и сильных ЭМП от отдельных источников (дифференциальный параметр).

ЭМП от отдельных источников могут быть классифицированы по нескольким признакам, наиболее общий из которых – частота ЭМП.

Электромагнитный фон в городских условиях имеет выраженный временной максимум от 10.00 до 22.00, причём в суточном распределении наибольший динамический диапазон изменения электромагнитного фона приходится на зимнее время, а наименьший – на лето. Для частотного распределения электромагнитного фона характерна много-модальность. Наиболее характерные полосы частот: **1)** 50–1000 Гц (до 20 гармоники частоты 50 Гц) – энергоснабжение, **2)** от одного до 32 МГц – вещание коротковолновых станций, **3)** 66–960 МГц – телевизионное и радиовещание, радиотелефонные системы, радиорелейные линии связи.

Интенсивность фона зависит от:

- географических координат места наблюдения;
- состояния ионосферы;
- излучения Солнца и галактик;
- расписания работы радиостанций;
- интенсивности автомобильного движения;
- близости к электроэнергетическим источникам.

### **Низкочастотные электромагнитные поля (поверхности с электростатическим зарядом)**

Источниками электростатических полей в бытовых условиях могут быть любые поверхности и предметы, легко электризуемые при трении: ковры, линолеумы, лакированные покрытия, одежда из синтетических тканей, обувь. Кроме того, электростатический заряд накапливается на экранах электронно-лучевых трубок телевизоров, видеотерминалов, осциллографов. Напряжённость электростатических полей в жилых зданиях может составлять до 20–40кВ/м.

Воздушные линии электропередачи (50 Гц). Интенсивности ЭМП от данного источника во многом зависят от напряжения линии (ПО, 220, 330 кВ и выше). Средние значения на рабочих местах электромонтеров:  $E = 5\text{--}15$  кВ/м,  $H = 1\text{--}5$  А/м; на маршрутах обхода обслуживающего персонала:  $E = 5\text{--}30$  кВ/м,  $H = 2\text{--}10$  А/м. В жилых зданиях, расположенных вблизи высоковольтных линий, напряжённость электрического поля, как правило, не превышает 200–300 В/м, а магнитного поля 0,2–2,0 А/м.

**Электрические сети жилых домов и бытовые низкочастотные приборы.** Основными особенностями жилых помещений в России служат:

➤ малометражность комнат и кухонь, что вынуждает человека находиться вблизи электропроводки и электроприборов;

➤ наличие железосодержащих конструкций и коммуникаций, что, во-первых, ведёт к искажению и ослаблению геомагнитного поля, а во-вторых – создаёт эффект «экранированной комнаты» для размещённых внутри неё электроприборов.

В подавляющем большинстве случаев используется сеть с одним нулевым (рабочим) проводником. Сети с нулевыми рабочим и защитным проводниками встречаются достаточно редко. Такая ситуация имеет следующие особенности:

➤ возрастает риск поражения электрическим током при замыкании фазного провода на металлический корпус или шасси прибора;

➤ металлические кожухи, шасси и корпуса приборов не заземлены и служат источником электрических полей (при выключенном приборе с вилкой в розетке) или электрических и магнитных полей промышленной частоты (при включённом приборе).

Напряжённости электрических полей вблизи протяжённых проводов, включённых в сеть 220 В, составляют 0,7– 2,0 кВ/м, вблизи бытовых приборов с металлическими корпусами (пылесосы, холодильники) – 1–4 кВ/м.

## **Высокочастотные и сверхвысокочастотные электромагнитные поля**

**Сверхвысокочастотные печи (СВЧ-печи).** Производимые в нашей стране и ввозимые из-за рубежа СВЧ-печи работают на частоте 2450 МГц. Колебательная мощность магнетронных генераторов подобных устройств зависит от емкости печи и может достигать до 800 Вт.

Излучение электромагнитной энергии в окружающее пространство обусловлено главным образом технологическими неисправностями и нарушениями (например, неплотно закрытыми дверцами и зазорами в волноводных трактах). Проведенные измерения неисправных печей показали, что максимальное значение плотности мощности на расстоянии пяти сантиметров от корпуса составляло до 100 мВт/см<sup>2</sup>.

Новое направление в производстве СВЧ-печей – это использование полимерных ферромагнитных материалов, обладающих как поглощающими свойствами, так и механической эластичностью. Эти материалы позволяют обеспечить плотное прилегание экранирующего и радиогерметизирующего материала к корпусу или соединениям при высоком коэффициенте экранирования.

**Радиопередающие устройства.** Радиопередающие устройства, используемые для радиолокации, радионавигации и связи, работают в очень широком частотном диапазоне: от 9 кГц до сотен гигагерц. Мощности, излучаемые передающими антеннами, также весьма разнообразны.

Особым типом радиопередающих устройств являются радиотелефонные системы с «сотовой» структурой и бесшнуровые телефоны.

Распространённые стандарты сотовой радиосвязи в России:

GSM-900 (диапазоны частот 890 – 915 и 935 – 960 МГц);

NMT-450 (диапазоны частот 453 – 457 и 463 – 467 МГц);

AMPS, AMPS-D (диапазоны частот: 824 – 849 и 869 – 894 МГц).

Начали своё развитие сети стандарта GSM-1800 (диапазоны частот: 1710 – 1785 и 1805 – 1880 МГц).

Выходная мощность базовых станций сотовой радиосвязи составляет до 100 Вт, современных передатчиков автомобильных станций – до 6 Вт, ручных радиотелефонов – до 2 Вт (с автоматическим управлением мощности).

Режим облучения различных контингентов лиц имеет некоторые особенности по времени воздействия: лица, профессионально связанные с радиотелефонами (персонал станций, связисты, диспетчеры, работники дорожной инспекции, пожарной охраны), подвергаются облучению в течение рабочего дня, а непрофессиональные пользователи радиотелефонов – только во время телефонных переговоров, которые составляют, по данным исследований, не более 1,5 ч для 85 % этой группы лиц.

Режим работы базовых станций зависит от времени суток. Так, для центра города характерный максимум излучений приходится на период с 11.00 до 17.00, а для «спальных» районов имеют место два максимума – с 09.00 до 10.00 и с 19.00 до 20.00.

Бесшнуровые бытовые и офисные телефоны рассчитаны на весьма малый радиус действия, их излучаемая мощность не превышает 20 мВт, основные частоты: 31–39, 46–49, 900 МГц. Каких-либо сведений о вредности для здоровья подобных систем связи в литературе нет.

### **Мониторы с электронно-лучевыми трубками персональных компьютеров**

**Электронно-лучевые трубки** (ЭЛТ) служат источниками электромагнитных излучений весьма широкого диапазона частот. Порождаемые ЭЛТ низкочастотное, высокочастотное, инфракрасное, видимое световое, ультрафиолетовое и рентгеновское излучения требуют специального анализа и специфических защитных мероприятий. Основные источники электромагнитных полей в низко- и высокочастотных диапазонах:

- экран монитора (электростатические поля);
- питающие провода и системный блок (частота 50 Гц);
- система строчной развёртки (диапазон частот 15–130 кГц);
- система кадровой развёртки (диапазон частот 50–150 Гц).

Относительно недавно появившийся источник ЭМП – импульсный блок питания. Для уменьшения габаритных размеров и массы сетевого трансформатора в последних моделях частоту напряжения питания сначала повышают до 100–150 кГц, а затем уже на этой частоте трансформируют. Наиболее сильные уровни излучений наблюдаются от верхней и боковых стенок мониторов, причём зона превышения российских гигиенических стандартов может простираться до 2,5 м.

С позиции обеспечения электромагнитной безопасности требуют внимания персональных ЭВМ (ПЭВМ) типа Notebook. В них отсутствует высоковольтный блок строчной развёртки и суммарное излучение практически полностью определяется импульсными блоками питания. Таких блоков несколько: сетевой адаптер, блок питания электроники, блок питания люминесцентной лампы, подсвечивающей изнутри плоский экран. Отечественные нормативные документы, регламентирующие ЭМП, создаваемые данным типом ПЭВМ, отсутствуют.

## Защитные мероприятия

Мероприятия по защите биологических объектов от ЭМП подразделяют на организационные; инженерно-технические; медицинско-профилактические и лечебные.

К основным организационным мероприятиям относятся:

- нормирование параметров электромагнитных воздействий;
- периодический контроль облучаемости;
- рациональное размещение источников и приёмников излучения (территориальный разнос);
- ограничение времени пребывания в ЭМП;
- предупредительные надписи и знаки.

Например, при пользовании радиотелефоном рекомендуется:

- ограничивать время пользования радиотелефоном (лучше использовать обычную проводную телефонную связь, а радиотелефон – только в экстренных случаях);
- пользоваться радиотелефоном в неэкранированных помещениях и на открытых площадках;
- плотно охватывать трубку рукой;
- попеременно прикладывать трубку к левому и правому уху;
- иметь зазор между ухом и трубкой (при хорошем качестве связи).

Для минимизации вредных воздействий питающих проводов в жилых домах и бытового электрооборудования нужно соблюдать следующие рекомендации:

- не находиться рядом с длинными проводами под напряжением;
- избегать свивания проводов в кольца, поскольку это увеличивает интенсивность излучения (эффект магнитного диполя);
- не оставлять вилку в розетке при выключенном приборе, поскольку в этом случае питающий провод становится дополнительным источником электрического поля;
- не размещать электроприборы в углах железобетонных комнат – в этом случае уровень излучения значительно возрастает («угловой отражатель»), это особенно относится к приборам, излучающим спектр частот: телевизорам, электронно-лучевым трубкам ПЭВМ.

Магнитные поля промышленной частоты могут быть ослаблены только толстостенными ферро-магнитными экранами, что в бытовых условиях невозможно. В связи с этим рекомендуется пользоваться изделиями ведущих фирм-производителей (приборы излучают существенно меньшие поля), а также ограничивать по возможности время пребывания рядом со включенными приборами.

К основным инженерно-техническим мероприятиям относятся уменьшение мощности излучения непосредственно в источнике и электромагнитное экранирование. Экраны могут размещаться вблизи источника (кожухи, сетки), на трассе распространения (экранированные помещения, лесонасаждения), вблизи защищаемого человека (средства индивидуальной защиты – очки, фартуки, халаты).

Иногда необходимо совместное применение организационных и технических мероприятий. Например, для снижения воздействия электростатических полей рекомендуется:

- использовать мониторы ПЭВМ с антистатическим покрытием экрана либо с заземлёнными защитными экранами-фильтрами;
- выдерживать расстояние до телевизора с экраном диагональю до 36 см не менее одного и не менее двух метров до телевизора с экраном, диагональю свыше 51 см;
- производить влажную уборку в жилых помещениях;

- использовать антистатические аэрозоли и бытовые ионизаторы воздуха. Медико-профилактические и лечебные мероприятия предполагают:
- гигиенические и терапевтические мероприятия по лечению пострадавших от электромагнитного воздействия;
- временный или постоянный перевод на другую работу отдельных категорий граждан (например, женщин в период беременности и кормления);
- просветительную работу среди населения о возможных, биологических эффектах электромагнитных воздействий, о стандартах и методах защиты.

## **СНИЖЕНИЕ ИНФРАЗВУКА В ОКРУЖАЮЩЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДАХ**

Акустические поля различных частот, от инфразвукового диапазона до ультразвукового, непрерывно на протяжении всей жизни воздействуют на человека, вызывая различные, часто ещё не до конца изученные реакции, как всего организма, так и отдельных его органов.

Наиболее загадочные явления наблюдаются при воздействии на человека инфразвуковых колебаний. Не воспринимая их непосредственно органами слуха, человек, тем не менее, ощущает их другими органами.

В процессе своей жизнедеятельности, как в производственной среде, так и среде обитания, человек постоянно сталкивается с воздействием инфразвуковых колебаний.

**Инфразвук** – звуковые колебания и волны с частотами, лежащими ниже полосы слышимых (акустических) частот в 20 Гц.

Общий (линейный) уровень звукового давления, дБ Лин, – величина, измеряемая по шкале шумомера «линейная» или рассчитанная путём энергетического суммирования уровней звукового давления в октавных полосах частот без корректирующих октавных поправок.

Эквивалентный (по энергии) общий (линейный) уровень звукового давления  $L_{\text{экв}}$ , дБ Лин, – уровень постоянного широкополосного инфразвука, среднеквадратическое звуковое давление которого такое же, как и данного непостоянного инфразвука в течение определённого интервала времени.

Применение в различных сферах деятельности человека машин и механизмов, увеличение их мощности и габаритных размеров, производительности и других технических характеристик обуславливают тенденцию повышения низкочастотных составляющих в спектрах шумов на рабочих местах и появление инфразвука. Характерной особенностью инфразвука в отличие от слышимого и ультразвукового диапазона частот служит большая длина волны и малая частота колебаний. При этом инфразвуковые волны могут свободно огибать препятствия, распространяясь в воздушной среде на большие расстояния с незначительной потерей энергии, поскольку поглощение инфразвука в атмосфере незначительно.

### **Классификация инфразвука, воздействующего на человека**

По характеру спектра инфразвук подразделяется на широкополосный с непрерывным спектром шириной более одной октавы и тональный, в спектре которого имеются слышимые дискретные составляющие. Гармонический характер инфразвука устанавливают в октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

По временным характеристикам инфразвук делится на постоянный, уровень звукового давления (УЗД) которого изменяется за время наблюдения не более чем в два раза (на шесть дБ) при измерении по шкале шумомера «линейная» на вре-

менной характеристике «медленно», и непостоянный, УЗД у которого изменяется за время наблюдения не менее чем в два раза (на 6 дБ) при измерении по шкале шумомера «линейная» на временной характеристике «медленно».

### **Основные источники инфразвука**

Источники инфразвуковых колебаний могут быть как естественными – различные природные явления и процессы, так и искусственными, созданными в результате производственно-технической и научной деятельности человека. Низкочастотные акустические колебания широко представлены в окружающей нас природе. Природные источники инфразвука – это землетрясения, извержения вулканов (с частотой около 0,1 Гц), грозовые разряды (0,25–4,00 Гц), штормы (так называемый «голос моря» – 10 Гц) и ветры. Немалую роль в возникновении играет турбулентность атмосферы.

Например, мистраль (северный или северо-западный холодный ветер на юге Франции) создаёт инфразвук частотой шесть Гц. Северные сияния также генерируют инфразвуковые волны. Однако все эти источники инфразвука локализованы в пространстве и времени и не оказывают глобального влияния на жизнь человечества. Различные естественные источники низкочастотных колебаний создают на планете так называемый инфразвуковой фон, который все время меняется, что обусловлено постоянным обменом энергии между различными явлениями природы.

В последнее время наблюдается увеличение инфразвукового фона в окружающей среде в связи с активной деятельностью человека на Земле, в частности с развитием промышленного производства и транспорта. К основным техногенным источникам инфразвуковых колебаний в городах можно отнести:

➤ производственный инфразвук, генерируемый различным оборудованием, расположенным на территории многочисленных промышленных предприятий в черте городской застройки в крупных урбанизированных центрах (наиболее характерно для градообразующих предприятий металлургической промышленности, в которой фиксировался инфразвук 97–107 дБ на частотах 8–16 Гц);

➤ спектры шумов транспортных потоков, содержащие инфразвуковые составляющие, которые не регистрируются обычными измерительными приборами и обладают высокими уровнями звукового давления;

➤ инфразвуковые колебания высокой интенсивности, которые наблюдаются в зоне жилой или промышленной застройки, причём источником этих колебаний служат не транспортные средства или высокоэнергетическое промышленное оборудование, а фактически сами здания или сооружения.

Человек подвергается воздействию таких техногенных источников звука: возвратно-поступательных движений частей различных механизмов и сооружений, доменных печей, дизельных моторов, кузнечных прессов, реакторов. Наибольшую интенсивность инфразвуковых колебаний создают машины и механизмы, имеющие поверхности больших размеров. При этом инфразвуковые колебания являются не только составной, но во многих случаях и преобладающей частью спектров производственных шумов.

**Инфразвук** – это также составная часть спектров шума, излучаемого технологическими агрегатами (табл. 28). Так, в спектрах шума большей части агрегатов чёрной металлургии преобладают низкие частоты.

## Спектры инфразвука и шума

Спектр	Октавные полосы, Гц/максимальные УЗД, Гц/дБ	Основные источники шума
Инфразвуковой	2,4,8 – 16/82 – 133	Автотранспорт, доменные и кислородно-конверторные печи, речные и морские суда, железнодорожный транспорт, компрессоры
Инфра-низкочастотный	2 – 125/84 – 112	Мартеновские печи, агломашины, отдельные виды транспортных средств и самоходные машины
Низкочастотный	31,5,63 – 125/84 – 116	Электродуговые печи, тягачи, гусеничные тракторы, портовые краны, турбинные установки, автопогрузчики, экскаваторы

В сталелитейном производстве УЗД инфразвука и низкочастотного шума агрегатов существенно зависят от интенсификации технологических процессов.

Таблица 29

## Результаты воздействия инфразвука

Жалобы	Число жалоб жителей двух районов (на 100 опрошенных)	
	опытного	контрольного
Нарушение дневного отдыха	52,3	14,7
Нарушение ночного отдыха	43,6	12,1
Неспокойный сон	49,0	26,3
Частые головные боли	26,4	13,0

Результаты социально-гигиенических исследований показывают, что население, проживающее в районе, где имеет место круглосуточное воздействие инфразвука с уровнями свыше 109 дБ, предъявляет достоверно больше жалоб, чем население контрольного района (табл. 29).

**Эффекты влияния инфразвуковых полей на человека**

Гигиеническая проблема, связанная с влиянием инфразвука на организм человека, возникла сравнительно недавно – в 70 годы XX века. Накопленные данные свидетельствуют о том, что инфразвуковые волны оказывают выраженное неблагоприятное воздействие на организм, особенно на психозэмоциональную сферу, влияют на работоспособность, сердечно-сосудистую, эндокринную и другие системы.

При исследовании влияния инфразвука, колебаний и вибраций на человека можно выделить типичные нарушения нормального состояния, то есть психофизические реакции, непосредственно влияющие на работоспособность человека и надежность выполнения им требуемых операций:

- ухудшение управления дыханием;
- нарушение координации движений;
- ухудшение способности слежения;
- ослабление внимания;
- уменьшение остроты зрения;
- ухудшение прицельных движений.

Подавляющее большинство людей, находящихся в производственной среде, в большей или меньшей мере подвергаются воздействию интенсивных полей низкой (инфразвуковой) частоты, что вызывает у работника ряд отклонений от его нормального состояния. Психофизическими исследованиями выявлены нарастание времени зрительной реакции, увеличение ошибок операторской деятельности, пространственная дезориентация испытуемых. У 86 % операторов эти отклонения в сочетании с ощущениями апатии и вялости наблюдались уже при уровнях звукового давления 110 дБ.

Биологический эффект низкочастотных акустических колебаний проявляется ответной реакцией всего организма, в которой участвуют преимущественно нервная, сердечно-сосудистая и дыхательная системы. В совокупности отклонения реакций различных систем организма от нормальных приводят к значительному снижению производительности труда, а при обслуживании технически сложных производств (предприятия нефтегазовой отрасли, управление современными скоростными транспортными средствами, работа, связанная с высоким уровнем умственной и психофизической нагрузки) может привести к аварийным ситуациям.

Городской шум в отличие от производственного характеризуется большим непостоянством распределения уровней во времени, что определяет трудности в изучении сложных и часто изменчивых реакций организма при взаимодействии его с другими факторами окружающей среды. Установлено, что люди, живущие в отдаленных тихих районах земного шара, отличаются более острым слухом по сравнению с жителями городов соответствующих возрастных групп. Население, проживающее в мегаполисах, попадает под постоянное воздействие низкочастотных колебаний различных уровней. У таких людей наблюдается накапливаемое возбуждение и раздражительность, происходит формирование так называемого «человека большого города».

**Мероприятия по снижению влияния инфразвука.** Защита от инфразвука может осуществляться в источнике возникновения, по пути распространения, в ограждаемом помещении.

Защита в источнике связана с уменьшением колебаний вибрирующего объекта, возмущающих сил или пульсации движущихся газовых либо гидродинамических потоков. В последнем случае применяют глушители.

Поскольку инфразвуковые волны без существенного затухания распространяются в открытом пространстве, а также без заметного ослабления проникают в закрытые помещения, основной мерой звукоизоляции помещений на низких частотах является увеличение жесткости ограждений.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое шум и звук? Какие имеются методы защиты от шума?
2. Какие выделяют шумовиброзащиты по принципу действия?
3. В чём основные сложности борьбы с ЭМП?
4. Как различаются ЭМП по энергетическому спектру, по виду источника и по видам воздействия?
5. Назовите основные организационные мероприятия по защите от ЭМП
6. Что такое инфразвук; какие существуют его источники и в чём выражается негативная сторона его воздействия на человека?



## РАЗДЕЛ. 9. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

---

В своей политике в области охраны окружающей природной среды Российская Федерация исходит из необходимости обеспечения всеобщей экологической безопасности и развития международного природоохранного сотрудничества в интересах настоящего и будущего поколений и руководствуется следующими принципами:

1. Каждый человек имеет право на жизнь в наиболее благоприятных экологических условиях;
2. Экологическое благополучие одного государства не может обеспечиваться за счёт других государств или без учёта их интересов;
3. Недопустимы любые виды хозяйственной и иной деятельности, экологические последствия которых непредсказуемы;
4. Должен быть установлен контроль на глобальном, национальном и региональном уровнях за состоянием и изменениями окружающей среды и природных ресурсов на основе международно-признанных критериев и параметров;
5. Должен быть обеспечен свободный и беспрепятственный международный обмен научно-технической информацией о проблемах окружающей природной среды и передовых природосберегающих технологиях;
6. Государства должны оказывать друг другу помощь в чрезвычайных экологических ситуациях.

С точки зрения промышленной экологии из общего перечня международных соглашений наиболее значимы:

**Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния** (далее *Конвенция*), подписанная в Женеве 13 ноября 1979 года и ратифицированная 29 апреля 1980 года, направлена на уменьшение выбросов загрязнителей воздуха, которые причиняют значительный ущерб природным ресурсам, имеющим жизненно важное экологическое и экономическое значение, таким как леса, почва, водные ресурсы, исторические памятники, а при определённых условиях оказывают вредное воздействие на здоровье человека. Положения Конвенции конкретизируются отдельными протоколами. Правительством СССР был подписан ряд протоколов к Конвенции 1979 года:

- о сокращении выбросов серы или их трансграничных потоков по меньшей мере на 30 %, который был ратифицирован 09 октября 1986 года (Хельсинки, 1985 год);
- об ограничении выбросов окислов азота или их трансграничных потоков, ратифицированный 21 июня 1989 года (София, 1988 год);
- о дальнейшем сокращении выбросов серы, который был ратифицирован 14 июня 1994 года (1984 год).

Эти документы направлены на ограничение или сокращение выбросов серы и азота от стационарных источников в целях охраны здоровья людей и защиты окружающей среды от пагубных воздействий, в частности от подкисления.

**Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в Трансграничном контексте, составленная в Эспо** (Финляндия) 25 февраля 1991 года направлена на предотвращение вредного трансграничного воздействия в результате планируемой деятельности, а также на его уменьшение и контроль за ним. Конвенция была подписана правительством СССР 06 июля 1991 года и подтверждена правительством Российской Федерации 13 января 1992 года № Н-Н11 ГП МИД России. После принятия национального списка объектов, подлежащих проце-

дуре ОВОС, Конвенция вступила в силу на территории регионов.

Для планирования, координации и методической поддержки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по программам и проектам Хелком и обеспечения выполнения обязательств России, вытекающих из Хельсинской конвенции 1998 года, на основании совместного решения Госкомэкологии России, правительства Санкт-Петербурга и Ленинградской области **создан региональный координационный совет** (РКС) по реализации ч программ, проектов, рекомендаций и решений Хельсинской комиссии о защите морской среды Балтийского моря.

**Конвенция по предотвращению загрязнения моря сбросами отходов и других материалов** (Лондонская конвенция от 29 декабря 1972 года), ратифицированная 15 декабря 1975 года, касается специальных проблем прямого загрязнения морских экосистем. Участники Лондонской конвенции договорились способствовать эффективной борьбе со всеми источниками загрязнения морской среды и обязались принимать все возможные меры для предотвращения загрязнения моря сбросами отходов и других материалов, которые могут повредить живым ресурсам и жизни в море, нанести ущерб зонам отдыха или препятствовать другим законным видам использования моря. В первую очередь это относится к хлорорганическим соединениям, ртути и её соединениям, кадмию и его соединениям, сырой и топливной нефти, тяжёлому дизельному топливу и смазочным маслам, гидравлическим жидкостям, а также смесям, содержащим любые из этих веществ, погруженных на суда в целях сброса.

**Конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением** (Базельская конвенция), подписанная 22 марта 1989 года, ратифицированная 25 ноября 1994 года Федеральным законом «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» и введенная в действие 01 мая 1995 года, определяет порядок контроля за трансграничным перемещением опасных отходов. Во исполнение Федерального закона «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» Правительство Российской Федерации Постановлением «О первоочередных мерах по выполнению Федерального закона «О ратификации Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением» от 01 июля 1995 года № 670 запретило импорт опасных отходов в целях их захоронения или сжигания на территории России. Для выполнения обязательств по Конвенции Правительство приняло Постановление «О государственном регулировании и контроле трансграничных перевозок» опасных отходов от 01 июля 1996 года № 766 и ввело его в действие с 01 января 1997 года.

**Конвенция об охране озонового слоя** (Венская конвенция), подписанная в 1995 году и ратифицированная 18 июня 1986 года, направлена на принятие соответствующих мер по охране здоровья людей и окружающей среды от вредных воздействий, которые возникают или могут возникнуть в результате человеческой деятельности, изменяющей или способной изменить озоновый слой. Во исполнение Венской конвенции Правительством СССР 16 сентября 1987 года был подписан и 10 ноября 1988 года ратифицирован Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, а 13 января 1992 года. Правительством Российской Федерации ратифицированы и Монреальский протокол, и Лондонская поправка к нему, ориентированная на снижение вероятности антропогенного разрушения озонового слоя в Северном полушарии за счёт прекращения выпуска, использования и закупки озоноразрушающих реагентов, а также реорганизации производства изделий, содержащих озоноразрушающие вещества.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бадагуев, Б.Т. Экологическая безопасность предприятия: приказы, акты, инструкции, журналы, положения, планы / Б.Т. Бадагуев. – М.: Альфа-Пресс, 2011. – 568 с.
2. Биомасса древесины и биоэнергетика: монография: в 2 т. Т. 1 / Л. А. За-негин, И. В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В. М. Щелоков. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 428 с.
3. Биомасса древесины и биоэнергетика: монография: в 2 т. Т. 2 / Л. А. За-негин, И. В. Воскобойников, В.А. Кондратюк, В. М. Щелоков. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. – 456 с.
4. Брюхань, Ф.Ф. Промышленная экология: учебник / Ф.Ф. Брюхань, М.В. Графкина, Е.Е. Сдобнякова. – М.: ФОРУМ, 2011. – 208 с.
5. Инженерная экология и экологический менеджмент: учебник / М.В. Буто-рина, П.В. Воробьев, А.П. Дмитриева и др.; под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадына. – М.: Логос, 2003. – 528 с.
6. Кувыкин, Н.А. Опасные промышленные отходы: лицензирование, норма-тивы образования и лимиты на размещение / Н.А. Кувыкин, А.Г. Бубнов, В.И. Гри-невич; под общ. ред. В.В. Кострова. – Иваново: ИГХТУ, 2004. – 148 с.
7. Лесная биоэнергетика: учебное пособие / под ред. Ю.П. Семёнова. – М.: МГУЛ, 2008. – 348 с.
8. Пальгунов, П.П. Утилизация промышленных отходов / П.П. Пальгунов, М.В. Сумароков. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
9. Поташников, Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления: учебное пособие / Ю.М. Поташников. – Тверь: ТГТУ, 2004.– 107 с.
10. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Гигиенические требо-вания к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления: 2.1.7.1322–03: введены 15 июня 2003 г. – М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003. – 24 с.
11. Санитарные правила. Гигиенические требования к устройству и содер-жанию полигонов для твёрдых бытовых отходов: 2.1.7.1038-01: утв. 30 мая 2001 г. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. – 16 с.
12. Шимова, О.С. Экономика природопользования: учебное пособие / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 377 с.
13. Шубов, Л. Я. Технология твёрдых бытовых отходов: учебник / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник; под ред. проф. Л.Я. Шубова. – М.: Альфа-М : ИН-ФРА-М, 2011. – 400 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	3
<b>Раздел 1. ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> .....	6
Вопросы для самоконтроля.....	15
<b>Раздел 2. ВЛИЯНИЕ ОТРАСЛЕЙ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> .....	16
Добыча полезных ископаемых.....	16
Обработывающие производства.....	18
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды.....	20
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство.....	20
Транспорт и связь.....	21
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг.....	21
Вооружённые силы.....	22
Ракетно-космическая техника.....	22
Распределение объёмов загрязнений природной среды по видам экономической деятельности.....	23
Вопросы для самоконтроля.....	24
<b>Раздел 3. ЗАЩИТА АТМОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ</b> .....	25
Основные химические примеси, загрязняющие приземные слои атмосферы.....	25
Очистка промышленных выбросов в атмосферу.....	28
Вопросы для самоконтроля.....	38
<b>Раздел 4. ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ</b> .....	39
ЗАГРЯЗНЕНИЕ МИРОВОГО ОКЕАНА.....	39
УПРАВЛЕНИЕ ЖИДКИМИ ОТХОДАМИ.....	41
Утилизация отходов химической промышленности.....	41
Механическое обезвоживание осадков промышленных сточных вод.....	49
ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД.....	54
Эксплуатация отдельных сооружений механической и физико-химической очистки сточных вод.....	57
Эксплуатация отдельных сооружений биологической очистки сточных вод.....	64
Эксплуатация отдельных вспомогательных сооружений.....	67
Вопросы для самоконтроля.....	75
<b>Раздел 5. ЗАЩИТА ЛИТОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ</b> .....	76
УПРАВЛЕНИЕ ТВЁРДЫМИ БЫТОВЫМИ ОТХОДАМИ.....	76
Нормативная правовая база обращения с отходами и их классификация.....	76
Российская нормативная правовая база обращения с отходами.....	76
Классификации отходов.....	80
Полигонное захоронение отходов.....	87
Устройство полигона и складирование отходов.....	88
Разложение отходов в местах их захоронения.....	93
Сбор и обезвреживание фильтрата.....	96
Добыча и утилизация биогаза.....	97
Мониторинг полигона.....	100
Рекультивация полигона.....	102
Дробление.....	103

Сепарация твёрдых бытовых отходов.....	108
Процессы сепарации.....	108
Грохочение.....	110
Магнитная сепарация.....	111
Электродинамическая сепарация.....	113
Аэросепарация.....	114
Специальные методы сепарации.....	115
Анализ технологических схем сепарации.....	116
Основы управления твёрдыми бытовыми отходами.....	121
Утилизация отходов пластмасс.....	126
Пиролиз и газификация отходов.....	128
<b>УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ ЛЕСОЗАГОТОВКИ</b>	
<b>И ДЕРЕВООБРАБОТКИ.....</b>	<b>129</b>
Физические основы биоэнергетики.....	129
Энергетические ресурсы мировых лесов.....	130
Технологии энергетического использования древесины.....	132
Газификация древесины.....	133
Производство жидкого моторного биотоплива.....	134
Производство древесного угля.....	137
Виды и ресурсы древесного сырья для производства топлива.....	139
Отходы лесозаготовок и деревообработки.....	140
Отходы лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности.....	141
Отходы производства целлюлозы, бумаги и картона.....	144
Производство, транспорт и хранение древесного топлива.....	146
Технология производства топливной щепы.....	147
Технология и производство древесных топливных гранул.....	151
Технология производства топливных брикетов из древесных отходов.....	154
Сжигание древесного топлива.....	156
Способы сжигания и основные типы топочных устройств.....	157
Слоевой способ.....	160
Факельный способ.....	163
Вихревой способ.....	165
Циклонный способ.....	166
Влияние сжигания биотоплива на окружающую среду.....	168
Влияние процесса сжигания биотоплива на углеродный и азотный циклы в природе.....	169
Возврат золы в природу как метод снижения влияния на окружающую среду при использовании биотоплива.....	174
Законодательная и нормативно-правовая база биоэнергетики.....	179
Перспективы развития лесной биоэнергетики в Российской Федерации, странах Европы и Северной Америки.....	180
Развитие лесной биоэнергетики в Российской Федерации.....	182
Вопросы для самоконтроля.....	186
<b>Раздел 6. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	
<b>ОТ ОТХОДОВ АВТОТРАНСПОРТА.....</b>	<b>188</b>
Основные направления и пути снижения вредных выбросов автотранспорта.....	190
Разработка альтернативных видов автотранспорта.....	191
Вопросы для самоконтроля.....	192

<b>Раздел 7. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ОТХОДОВ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ</b>	193
Ракетно-космические комплексы и технологические фазы осуществления космического полёта	193
Техногенное воздействие на окружающую среду при эксплуатации ракетно-космической техники	195
Засорение околоземного и космического пространств	199
Снижение техногенного воздействия на технологических фазах выведения космического аппарата на орбиту и его посадки	200
Вопросы для самоконтроля	201
<b>Раздел 8. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ВИДОВ ЗАГРЯЗНЕНИЙ</b>	202
<b>ЗАЩИТА ОТ АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	202
Источники и масштабы загрязнения окружающей среды	202
Основные представления о звуке и шуме	202
Классификация средств и методов защиты от шума	203
Экономика и практика шумозащиты	205
<b>ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ (ЭМП) И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ</b>	207
Электромагнитные поля естественных источников	208
Электромагнитные поля искусственных источников	209
Низкочастотные электромагнитные поля (поверхности с электростатическим зарядом)	209
Высокочастотные и сверхвысокочастотные электромагнитные поля	210
Мониторы с электронно-лучевыми трубками персональных компьютеров	212
Защитные мероприятия	212
<b>СНИЖЕНИЕ ИНФРАЗВУКА В ОКРУЖАЮЩЕЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДАХ</b>	213
Классификация инфразвука, действующего на человека	213
Основные источники инфразвука	214
Эффекты влияния инфразвуковых полей на человека	215
Вопросы для самоконтроля	216
<b>Раздел 9. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	217
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	219

*Учебное издание*

Анатолий Сергеевич НОВОСЁЛОВ

# **УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ**

*Учебное пособие*

*Редактор Л.А. Перерукова*

Подписано в печать 6.11.2013 г.  
Формат 60x90/16. Бумага офисная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,0.  
Тираж 35 экз. Заказ 490.

---

Отпечатано: РИО ВоГУ  
160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15.