

*Е.Е. Бочарникова, В.А. Финоченко*

## ТЕХНОЛОГИИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Аннотация.** В статье рассматриваются источники негативного воздействия машиностроительных предприятий на окружающую среду и наилучшие доступные технологии снижения их негативной нагрузки, которые носят технологический, организационно-управленческий, архитектурно-планировочный и логистический характер. В работе также показано, что интеграция принципов экологической ответственности в стратегию машиностроительных предприятий служит фундаментом устойчивого развития.

**Ключевые слова:** машиностроение, охрана окружающей среды, наилучшие доступные технологии.

**Для цитирования:** Бочарникова, Е. Е. Технологии охраны окружающей среды машиностроительных предприятий / Е. Е. Бочарникова, В. А. Финоченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 2 – С. 12–19. – DOI 10.46973/1818-5509\_2026\_2\_12.

Промышленное загрязнение окружающей среды является важной проблемой, затрагивающей практически все сферы жизнедеятельности. При этом, машиностроительные предприятия выступают крупнейшими источниками загрязнения. Производя большой ассортимент различной продукции, выделяют широкий спектр твердых, газообразных и жидких отходов, загрязняющих все звенья биосферы [1].

В машиностроении образование твердых отходов связано с производственным циклом. К ним в первую очередь относятся:

- амортизационный лом, образующийся при обновлении оборудования, смене оснастки и износе инструмента;
- резинотехнические отходы;
- древесная и пластиковая стружка с опилками;
- абразивы;
- шлаки и зола;
- шламы, флюсы и осадки;
- бумага и картон.

Изучая факт загрязнения атмосферного воздуха, наглядно видно, что основными источниками негативного влияния являются такие виды производств, как литейное, сварочное, лакокрасочное, цехи механической обработки, иными словами металлообработка, загрязняющая воздушное пространство абразивной и металлической пылью. В частности, литейное производство выбрасывает в атмосферу пыль, оксиды серы, азота и углерода в больших количествах, тем временем как сварочные цеха и окрасочные работы являются источниками аэрозолей и паров растворителей. Потенциальными последствиями такого воздействия на атмосферный воздух являются локальные загрязнения, влияющие на здоровье персонала и населения.

Водные ресурсы подвергаются загрязнению в основном гальваническими производствами, то есть загрязнение водоемов тяжелыми металлами, кислотами и щелочами, а также поверхностными стоками, к которым относятся взвешенные вещества и нефтепродукты, что приводит к негативному воздействию на водоемы.

Немало важным вопросом для решения проблемы загрязнения окружающей среды предприятиями машиностроения является внедрение «зеленой» повестки, которая представляет собой интегрированный процесс экологизации, ориентированный на минимизацию антропогенного воздействия в течении полного жизненного цикла всей продукции. Данные меры обусловлены ужесточением экологического законодательства, требованиями ESG (экологическая, социальная и управленческая ответственность) и необходимостью повышения рентабельности в условиях глобальной конкуренции.

К одним из ключевых направлений «зеленой» повестки относятся энергетический менеджмент и декарбонизация. В этот блок входят регенерация вторичных энергоресурсов, рациональное использование энергопотребления с помощью введения систем энергомониторинга, совершенствование приводных систем и воспроизводство энергии от возобновляемых источников для снижения уровня выбросов парниковых газов [2-5].

Необходимо отметить, что оценка состояния техногенных систем охватывает два ключевых аспекта:

- экологический риск, т.е. риск для природной среды [6, 7];
- технический риск, т.е. вероятность возникновения проблем, связанных с технологиями, оборудованием, инфраструктурой или процессами (промышленная безопасность).

Большое разнообразие загрязнений подразумевает оценку экологических рисков и разработку технологий охраны окружающей среды, так называемых наилучших доступных технологий, т.е. комплекса технологических, технических и управленческих решений, направленных на обеспечение высокой ресурсной и экологической эффективности производства. Отдельно следует сказать, что в настоящее время перед Российской промышленностью стоят задачи реализации целостного подхода по интеграции новых допустимых технологий в экологическую и производственную политику [8].

В зависимости от характера вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, методы очистки отходящих газов подразделяют на две большие группы [9, 10]:

- очистка от аэрозолей, т.е. пыли и туманов;
- очистка от газообразных и парообразных примесей.

Улавливание аэрозольных частиц из газовых потоков базируется на двух принципиально различных подходах:

- регенеративном, предполагающем сохранение вещества (электростатическое осаждение, адсорбция);
- деструктивном, направленном на его разложение (каталитическое и термическое окисление).

По конструктивному исполнению аппараты, сепарирующие твердые фазы, традиционно классифицируются на пылеуловители, варьирующихся от циклонов до скрубберов (для грубых и тонких фракций) и воздушные фильтры (преимущественно для высокодисперсных аэрозолей).

Нейтрализация газовой фазы, содержащей токсичные соединения в парообразном состоянии, достигается путем физико-химической трансформации или биологической деструкции.

К числу наиболее востребованных физико-химических технологий относятся абсорбционные (включая хемосорбцию), адсорбционные процессы, а также термическую и каталитическую обработку. На практике высокая эффективность обезвреживания, как правило, обеспечивается применением гибридных (многоступенчатых) схем, где последовательно реализуются различные технологии очистки.

Определяющими критериями при выборе оптимальной технологии служат:

- параметры загрязнителей (уровень входной концентрации примесей и требования к концентрации выбросов);
- характеристики потока (объем и температура выбросов);

- компонентный состав выбросов (наличие вторичных примесей и механических взвесей);
- ресурсное обеспечение (наличие и доступность реагентов, сорбентов или катализаторов);
- инфраструктурные ограничения (габариты оборудования и площадь под их установку);
- эксплуатационная технологичность (простота обслуживания, ремонтпригодность и устойчивость к климатическим факторам и т.п.).

Обработка производственных стоков направлена на достижение трех основных эффектов:

- природоохранного, а именно снижение нагрузки на гидросферу;
- ресурсосберегающего, связанного с возможностью использования очищенной воды в оборотных циклах;
- утилитарного, основанного на сепарации и возврате ценных продуктов в рабочий цикл.

Выбор рациональной технологии водоочистки основывается, прежде всего, физико-химическими характеристиками сточной воды, определяющими номенклатуру присутствующих в ней поллютантов. Исходный состав стоков диктует необходимость применения тех или иных методов и их комбинаций. На базе этого предлагаются различные конфигурации очистных мощностей, которые могут быть представлены:

- локальными установками, интегрированными непосредственно в технологическую линию цеха (для утилизации высококонцентрированных или специфических примесей до смешения с общим потоком);
- общезаводскими (централизованными) станциями, обеспечивающими финишную доочистку смешанного стока перед сбросом или подачей в оборот.

Существующие методы очистки сточных вод подразделяются на механические, химические, физико-химические, электрохимические и биологические.

В механических способах удаление взвешенных веществ из сточных вод достигается гидромеханическими методами:

- процеживанием (барабанные сетки, решетки);
- отстаиванием (песколовки, отстойники, гидроциклоны), основанные на принципе использования гравитационных или центробежных сил для отделения минеральных и органических взвесей;
- фильтрованием (зернистые или тканевые фильтры).

Следует учитывать, что выбор технологии определяется дисперсностью примесей, их концентрацией, расходом стоков и требуемой эффективностью.

Химические методы занимают особое место в спектре водоочистных технологий, выполняя как самостоятельные, так и вспомогательные функции. Они могут выступать в роли:

- основного технологического процесса при подготовке воды для замкнутых циклов водоснабжения;
- предварительной ступени, снижающей нагрузку на последующие виды очистки;
- метода глубокой доочистки стоков;
- инструмента рекуперации ценных компонентов, т.е. извлечения металлов и других ценных соединений.

К основным химическим процессам относятся:

- нейтрализация кислотно-щелочных стоков для доведения pH до экологически безопасного уровня (6,5-8,0);
- осаждение ионов тяжелых металлов посредством перевода в малорастворимые формы;
- окисление (озонирование, хлорирование) и восстановление (например, хрома (VI) до хрома (III)).

Физико-химическая обработка сточных вод представляет собой совокупность процессов, направленных на извлечение из жидкой фазы трудносепарируемых компонентов: высокодисперсных взвесей (как твердых, так и эмульгированных жидких), растворенных газов, а также ионных и молекулярных форм минеральных и органических загрязнителей. Данная группа методов базируется на изменении фазово-дисперсного состояния примесей или массообмене между жидкой и твердой или газовой фазами.

К числу наиболее востребованных физико-химических технологий относятся:

- коагуляция и флотация, необходимые для дестабилизации коллоидных систем и флотационного отделения агрегатов;
- сорбционные процессы, т.е. адсорбция, ионный обмен (концентрирование загрязнений на поверхности или в объеме твердой фазы) и др.;
- экстракция, а именно перераспределение примесей между двумя жидкими фазами;
- баромембранные процессы, т.е. микрофильтрация, ультрафильтрация, обратный осмос, заключающиеся в сепарации на полупроницаемых перегородках под действием градиента давления.

Ключевым преимуществом физико-химических методов выступает их способность обеспечивать высокую и воспроизводимую степень очистки даже при флуктуациях гидравлической нагрузки и нестабильности качественного состава исходных стоков, что выгодно отличает их от менее устойчивых к внешним воздействиям биологических систем.

Электрохимические методы базируются на преобразовании электрической энергии в химическую работу, что позволяет инициировать окислительно-восстановительные реакции непосредственно в обрабатываемой среде (анодное окисление, катодное восстановление), а также реализовывать процессы электрофлотации, электрокоагуляции и электродиализа без введения дополнительных реагентов.

Биологическая очистка занимает доминирующее положение в спектре технологий обработки сточных вод благодаря своей универсальности и способности к деструкции широкого спектра загрязнений. Метод базируется на метаболическом потенциале микроорганизмов, которые в процессе ассимиляции используют компоненты стоков в качестве субстрата для энергетического обмена и конструктивного метаболизма.

Деструкция органических соединений, а также частично окисленных неорганических веществ (например, соединений азота и серы) реализуется через биохимическое окисление, катализируемое ферментными системами микробных клеток. В зависимости от природы они подразделяются на:

- аэробные, где окисление субстрата сопряжено с восстановлением молекулярного кислорода, т.е. они ориентированы преимущественно на минерализацию растворенных органических соединений;
- анаэробные, протекающие при отсутствии кислорода с использованием его связанных форм (нитратов, сульфатов). Данные процессы характеризуются меньшей скоростью, но позволяют утилизировать как растворенные органические вещества, так и твердую фазу осадков, что делает их незаменимыми в технологиях сбраживания и стабилизации избыточного активного ила.

Реализация процессов биохимического окисления возможна в двух принципиально различных макросредах:

- в условиях, приближенных к природным, а именно естественная очистка на полях фильтрации и в биологических прудах;
- в управляемых условиях инженерных сооружений – биологических реакторах таких как аэротенки и биофильтры.

Принципиальное различие в аппаратном оформлении определяет форму существования микрофлоры. В аэротенках биоценоз представлен активным илом – флокулированной взвесью, состоящей из клеток микроорганизмов, внеклеточных полимеров и сорбированных частиц субстрата, тем временем как в биофильтрах микроорганизмы

формируют биопленку, т.е. консорциум, закрепленный на поверхности инертной или активной загрузки.

Рассматривая твердые отходы предприятий машиностроения, выделяется утилизация изделий из резины и пластмассы.

Все известные методы утилизации изделий из резины, потерявших потребительские свойства, можно разделить на три группы [11]:

- физический метод – дробление;
- физико-химический метод – регенерация;
- термические методы – сжигание и пиролиз.

Механическая деструкция – совокупность процессов, направленных на разрушение эластомерного материала под действием внешних нагрузок. В зависимости от конструкции измельчительного оборудования реализуются различные механизмы разрушения: удар (в молотковых дробилках), истирание (в валковых агрегатах), резание (в ножевых мельницах), сжатие и сдвиг (в экструдерах). Конечным продуктом выступают резиновые порошки различной дисперсности, используемые как наполнители или компоненты композиционных материалов.

Физико-химическая переработка основывается на процессах регенерации, при которых под действием тепла, пластифицирующих агентов и механических усилий происходит деструкция пространственной сетки вулканизата. В отличие от механического измельчения, регенерация позволяет частично восстановить пластические свойства материала, сохраняя его макромолекулярную структуру для повторной вулканизации.

Термическая конверсия – процесс глубокой химической деструкции резины, протекающий в условиях отсутствия кислорода. При нагревании до определенных температур полимерная матрица распадается с образованием низкомолекулярных соединений, формирующих три целевых фракции: твердый углеродсодержащий остаток, жидкие углеводороды и неконденсируемые газы, которые могут быть направлены на энергообеспечение самого процесса.

Немало важными стратегическими методами минимизации экологических рисков являются следующие организационно-управленческие меры:

- внедрение системы экологического менеджмента;
- проведение регулярного экологического аудита и мониторинга;
- разработка программ производственного экологического контроля;
- стимулирование рационализаторских предложений по ресурсосбережению.

Также можно использовать архитектурно-планировочные и логистические решения:

- правильное зонирование территории предприятия;
- создание санитарно-защитных зон и озеленение;
- оптимизация логистики для снижения выбросов от транспорта.

В заключении следует отметить, что важным фактором решения проблемы загрязнения окружающей среды предприятиями машиностроения является внедрение «зеленой» повестки. Это обуславливается требованиями экологического законодательства и социальной ответственностью производителей.

Также следует отметить, что в настоящее время имеются, так называемые наилучшие доступные технологии для снижения негативной нагрузки машиностроительных предприятий на окружающую среду. Они носят как технологический характер, так и организационно-управленческий, архитектурно-планировочный и логистический характер.

В целом интеграция принципов экологической ответственности в стратегию машиностроительных предприятий служит фундаментом устойчивого развития.

Помимо общих организационных мер, критически важным является внедрение системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей международному стандарту ISO 14001. Такая система обеспечивает не формальное, а реальное интегрирование экологических целей в бизнес-процессы. Она предполагает цикличность действий:

планирование (установление целей и программ), выполнение (внедрение и функционирование процессов), проверку (мониторинг и аудит) и улучшение (корректирующие и предупреждающие действия). Это позволяет предприятию не просто реагировать на проблемы, но проактивно управлять своими экологическими аспектами, последовательно снижая нагрузку на окружающую среду.

В конечном итоге, успех всей экологической стратегии машиностроительного предприятия зависит от формирования соответствующей корпоративной культуры. Регулярное обучение и повышение экологической грамотности персонала всех уровней, внедрение программ мотивации за предложения по ресурсосбережению и снижению отходов создают необходимую вовлеченность коллектива. Только сочетание технологических, управленческих и кадровых мер обеспечивает комплексное снижение экологической опасности и способствует долгосрочной конкурентоспособности предприятия в условиях ужесточающихся экологических норм и роста общественных ожиданий.

### Список литературы

1. **Липаев, А. А.** О роли машиностроения в создании техносферы и проблемах управления его отходами / А. А. Липаев. Управление техносферой : электронный журнал. – 2021. – Т.4. Вып.4. – С. 389-402. – URL: <https://technosphere-ing.ru/> (дата обращения: 16.01.2026). – DOI: 10.34828/UdSU.2021.23.42.005.
2. **Лебедева, М. А.** Проблемы декарбонизации экономики России / М. А. Лебедева. Проблемы развития территории. – 2022. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-dekarbonizatsii-ekonomiki-rossii>
3. **Горбунова, М. М.** К вопросу перспектив применения возобновляемых источников энергии и технологий альтернативной энергетики / М. М. Горбунова, В. А. Финоченко. Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. №4(61), 2022. – С. 35-39.
4. **Муравьев, А. В.** Альтернативные источники энергосбережения в теплоснабжении / А. В. Муравьев, А. О. Набокин, И. В. Тарасов, А. П. Черкезян. Сб. научных трудов Междунар. научно-практ. конф. «Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи». – Ростов н/Д.: 2023. – С. 151-154.
5. **Эстрин, И. А.** Роль энергосбережения в современных условиях / И. А. Эстрин, И. А. Соколенко, В. Е. Мамутов, Д. С. Володин. Сб. научных трудов V Междунар. научно-практ. конф. «Энергетика транспорта.

### References

1. **Lipaev, A. A.** On the Role of Mechanical Engineering in the Creation of the Technosphere and the Problems of Managing Its Waste / A. A. Lipaev. Technosphere Management: Electronic Journal. - 2021. - Vol. 4. Issue 4. - Pp. 389-402. - URL: <https://technosphere-ing.ru/> (accessed: 16.01.2026). - DOI: 10.34828/UdSU.2021.23.42.005.
2. **Lebedeva, M. A.** Problems of Decarbonization of the Russian Economy / M. A. Lebedeva. Problems of Territorial Development. - 2022. - No. 2. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-dekarbonizatsii-ekonomiki-rossii>
3. **Gorbunova, M. M.** On the Prospects of Using Renewable Energy Sources and Alternative Energy Technologies / M. M. Gorbunova, V. A. Finochenko. Proceedings of the Rostov State Transport University. No. 4 (61), 2022. – Pp. 35-39.
4. **Muravyov, A. V.** Alternative Sources of Energy Saving in Heat Supply / A. V. Muravyov, A. O. Nabokin, I. V. Tarasov, A.P. Cherkezyan. Collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conf. "Transport Energy. Actual Problems and Tasks". – Rostov n / D: 2023. – Pp. 151-154.
5. **Estrin, I.A.** The Role of Energy Saving in Modern Conditions / I. A. Estrin, I. A. Sokolenko, V. E. Mamutov, D. S. Volodin. Collection of scientific papers of the V Intern. scientific-practical. conf. "Energy of

Актуальные проблемы и задачи». – Ростов н/Д.: 2021. – С. 84-88.

6. **Ширкин, Л. А.** Техногенные системы и экологический риск / Л. А. Ширкин, Т. А. Трифонова. Владимирский государственный университет. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 79 с.

7. **Сизова, Н.С.** Стратегия минимизации экологических рисков в России / Н. С. Сизова. Вестник Санкт-Петербургского университета. Социология. – 2011. – №4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-minimizatsii-ekologicheskikh-riskov-v-rossii>

8. **Минбалеев, А. В.** Наилучшие доступные технологии и их использование для технологического развития / А.В. Минбалеев, М.А. Берестнев, К.С. Евсиков. Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2024. Вып. 1.

9. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях : ИТС 22-2016 : дата введения 2017–07–01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – М.: Бюро НДТ, 2016. – URL: [https://burondt.ru/NDT/docs/its22/#\\_Toc468090595](https://burondt.ru/NDT/docs/its22/#_Toc468090595).

10. **Абдульманова, К. И.** Основные тенденции развития инженерной экологии / К. И. Абдульманова, Л. И. Воробинская, В. А. Финоченко. Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – Ростов н/Д: 2024. № 3(68). – С. 19-23.

11. **Шулепова, О. В.** Организация управления отходами в производственном процессе на машиностроительном предприятии / О. В. Шулепова // АПК: инновационные технологии. – 2025. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-upravleniya-othodami-v-proizvodstvennom-protseesse-na-mashinostroitelnom-predpriyatii>

Transport. Actual Problems and Tasks". - Rostov n / D: 2021. - Pp. 84-88.

6. **Shirkin, L.A.** Technogenic systems and environmental risk / L. A. Shirkin, T. A. Trifonova. Vladimir State University. - Vladimir: Publishing house of Vladimir. state University, 2011. - 79 p.

7. **Sizova, N. S.** Strategy for minimizing environmental risks in Russia / N. S. Sizova. Bulletin of St. Petersburg University. Sociology. - 2011. - No. 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-minimizatsii-ekologicheskikh-riskov-v-rossii>

8. **Minbaleev, A. V.** Best Available Technologies and Their Use for Technological Development / A. V. Minbaleev, M. A. Berestnev, K. S. Evsikov. Bulletin of Tula State University. Earth Sciences. 2024. Issue 1.

9. Information and Technical Handbook on Best Available Technologies. Cleaning of Emissions of Harmful (Polluting) Substances into the Atmospheric Air during the Production of Products (Goods), as well as during Work and the Provision of Services at Large Enterprises: ITS 22-2016: effective July 1, 2017 / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – M.: Bureau of NDT, 2016. – URL: [https://burondt.ru/NDT/docs/its22/#\\_Toc468090595](https://burondt.ru/NDT/docs/its22/#_Toc468090595).

10. **Abdulmanova, K. I.** Main trends in the development of engineering ecology / K. I. Abdulmanova, L. I. Vorobinskaya, V. A. Finochenko. Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – Rostov n / D: 2024. No. 3 (68). – P. 19-23.

11. **Shulepova, O.V.** Organization of waste management in the production process at a machine-building enterprise / O. V. Shulepova // AIC: innovative technologies. – 2025. – No. 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-a-upravleniya-othodami-v-proizvodstvennom-protseesse-na-mashinostroitelnom-predpriyatii>

*E.E. Bocharnikova, V.A. Finochenko*

## ENVIRONMENTAL PROTECTION TECHNOLOGIES OF ENGINEERING ENTERPRISES

**Abstract.** This article examines the sources of negative environmental impacts of engineering enterprises and the best available technologies for mitigating these impacts, which include technological, organizational, managerial, architectural, planning, and logistical approaches. The paper also demonstrates that integrating environmental responsibility principles into the strategy of engineering enterprises serves as the foundation for sustainable development.

**Keywords:** mechanical engineering, environmental protection, best available technologies.

**For citation:** Bocharnikova, E. E. Environmental Protection Technologies of Engineering Enterprises / E. E. Bocharnikova, V. A. Finochenko // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2026. – № 2. – P. 12–19. – DOI 10.46973/1818-5509\_2026\_2\_12.

### Сведения об авторах

**Бочарникова Екатерина Евгеньевна**

Ростовский государственный университет  
путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,  
магистрант

**Финоченко Виктор Анатольевич**

Ростовский государственный университет  
путей сообщения,  
Декан факультета Энергетический  
кафедра Безопасность жизнедеятельности,  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: fin@rgups.ru

### Information about the authors

**Bocharnikova Ekaterina Evgenevna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Life Safety»,  
Master's Degree Student

**Finochenko Viktor Anatolyevich**

Rostov State Transport University,  
Dean of the Faculty of Energy  
Chair «Life Safety»,  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
e-mail: fin@rgups.ru