

## ТРАНСПОРТ

УДК 629.3+502.174

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19909799>

Е. С. Сытник, Д. Ю. Пащенко, В. И. Безухов, П. В. Лаврентьев

### ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛЯРНОГО УЧАСТКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАНЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

*Представлен аналитический обзор современных подходов к экологическому обоснованию организации малярных участков станций технического обслуживания. Разработана система критериев для сравнительной оценки решений (экологическая и ресурсная эффективность, соответствие наилучшим доступным технологиям). На ее основе систематизированы существующие решения и проведен их сравнительный анализ. Для демонстрации перехода к количественному обоснованию выполнен расчет по официальной «Методике расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (на основе удельных показателей)». Показано, что применение системного подхода, объединяющего сравнительный анализ по критериям наилучших доступных технологий и инструменты количественной оценки, позволяет на этапе проектирования перейти от формального соответствия нормативам к инженерно-обоснованному выбору технологий. Повышая, в результате, как экологическую безопасность, так и ресурсную эффективность предприятий автосервиса.*

**Ключевые слова:** станция технического обслуживания, участок малярный, экологическое обоснование, наилучшие доступные технологии, утилизация, вредные выбросы, охрана окружающей среды

**Для цитирования:** Экологическое обоснование организации малярного участка при проектировании станции технического обслуживания / Е. С. Сытник, Д. Ю. Пащенко, В. И. Безухов, П. В. Лаврентьев // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Road Institute. – 2025. – № 4(55). – С. 7–21. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19909799>.

#### Постановка задачи

Организация малярного участка является неотъемлемой частью современных станций технического обслуживания (СТО) – наиболее распространенного типа автосервисных предприятий (АСП). Деятельность данного участка сопряжена с образованием значительного количества загрязняющих веществ. К ним относятся выбросы в атмосферный воздух (пары растворителей, красочный аэрозоль), образование жидких стоков и твердых отходов (шлам, отработанные фильтры), что создает риск негативного воздействия на окружающую среду и персонал [1]. В связи с этим экологическое обоснование организации малярного участка на стадии проектирования становится обязательным требованием, направленным на соблюдение природоохранного законодательства, в частности Федерального закона от 21.07.2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» (редакция от 8 августа 2024 года) [2], предусматривающего переход на принципы наилучших доступных технологий (НДТ). Соответствие принципам НДТ не только минимизирует ущерб окружающей среде, но и создает конкурентные преимущества для АСП за счет повышения ресурсной эффективности.

Проектирование экологически безопасного малярного участка должно осуществляться в строгом соответствии с требованиями Федерального закона от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (редакция от 26.12.2024 г.) «Об охране окружающей среды» [3], Федерального закона от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» (редакция от 08.08.2024 г.) [4], Федерального закона от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (редакция от 31.07.2025 г.) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2025 г.) [5], а также санитарных норм СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий,

сооружений и иных объектов» утвержденному постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 25.09.2007 г. № 74 [6].

### *Анализ последних исследований*

Современная ситуация в области экологизации АСП характеризуется повышенным вниманием к проблеме негативного воздействия на окружающую среду. Данная тенденция напрямую связана с уровнем автомобилизации, являющимся ключевым фактором развития инфраструктуры таких предприятий. На 1 января 2025 года парк легковых автомобилей Российской Федерации достиг 47,5 млн единиц [7]. Из них более 40 % сосредоточено в 11 регионах (рисунок 1), что создает в субъектах РФ высокую плотность автотранспорта и, как следствие, устойчивый спрос на услуги автосервиса, включая малярные работы.



Рисунок 1 – Регионы России с наибольшим парком легковых автомобилей (доля от общероссийского парка, %)

Вместе с тем, увеличение среднего возраста автомобилей до 14,5 лет [8] также ведет к увеличению объема кузовных ремонтов и расширению сети СТО, в структуре которых малярные участки являются одними из основных источников загрязнения [1, 9]. Это определяет комплексный характер проблемы, решение которой требует учета технологических и нормативных аспектов. В настоящее время сформировалось несколько ключевых направлений исследований, создающих теоретическую базу для поиска решений.

1. Нормативно-правовое регулирование и стратегические ориентиры. Ведущим принципом экологизации производства в РФ является переход на НДТ, регламентированный Федеральным законом [2]. Анализ литературных источников по НДТ [10, 11, 12] задает четкие целевые ориентиры, однако практическая адаптация этих общих требований к специфике малярных участков СТО требует дополнительного изучения.

2. Технологические аспекты и свойства материалов. Фундаментальной основой для понимания процессов образования загрязнений являются физико-химические свойства лакокрасочных материалов (ЛКМ). Детальный анализ технологий нанесения и формирования покрытий, а также свойств современных материалов [13, 14, 15] позволяет выявить прямую зависимость между выбором материала, режимом его нанесения и объемом образующихся вредных выбросов. Это создает теоретическую базу для поиска технологических решений, позволяющих минимизировать воздействие в самом источнике его образования.

3. Методологии оценки эффективности. В условиях ужесточения экологических требований особую актуальность приобретают инструменты количественной оценки. Активно внедряются методики оценки жизненного цикла и ресурсоемкости, в частности, показатель

материальной интенсивности (MIPS) [16], применение которого для анализа окрасочных производств демонстрирует свою эффективность. Данный инструмент позволяет перейти от качественных описаний к количественному учету непродуктивных затрат и выявлению проблемных зон. При этом для практических задач нормирования и экологического обоснования проектов в РФ основополагающее значение имеет официальная «Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (на основе удельных показателей)» (далее – Методика) [17], утвержденная Госкомэкологии России и актуализированная в 2021 г., которая задает стандартизированный алгоритм для получения исходных количественных данных о воздействии.

4. Прикладные решения для АСП. Практический интерес представляют исследования, сфокусированные непосредственно на организации малярных работ в условиях СТО. Рассматриваются вопросы нормирования расхода ЛКМ [18], организации условий труда [19] и управления образующимися отходами [1, 11]. Однако зачастую эти исследования носят разрозненный характер.

Таким образом, проведенный анализ литературных источников подтверждает актуальность темы и наличие значительного массива разрозненных данных – нормативных требований, технологических описаний и отдельных методик оценки. Однако отсутствуют работы, предлагающие их комплексную систематизацию и сравнительный анализ именно для задач проектирования малярных участков СТО. Это определяет необходимость и новизну настоящего аналитического обзора.

**Цель работы** – систематизация и сравнительный анализ существующих инженерно-технических решений и методологических подходов для экологического обоснования организации малярного участка СТО, соответствующих принципам наилучших доступных технологий, и их интеграция в практическую схему проектирования.

### **Основная часть**

Технологические процессы, происходящие на малярном участке, сопряжены с образованием значительного количества загрязняющих веществ. Многие применяемые материалы (шпатлевки, грунтовки, краски, растворители, смывки) содержат токсичные компоненты – аэрозоли красок, пары растворителей, твердые частицы – и являются источником загрязнения окружающей среды [1, 20]. Специфика работы участка заключается в постоянном использовании ЛКМ, что формирует несколько основных потоков загрязнения:

- выбросы в атмосферный воздух (пары органических растворителей, аэрозольные частицы краски);
- образование жидких отходов (отработанная вода из окрасочных камер, содержащая остатки ЛКМ и коагулянтов);
- образование твердых отходов (отработанные фильтры, шлам от очистки оборудования).

Без применения современных средств очистки данные вещества наносят ущерб экосистемам и создают риск для здоровья персонала. Следовательно, проектирование малярного участка СТО должно базироваться на комплексном подходе, интегрирующем эффективную организацию воздухообмена, применение современных материалов, очистку выбросов от сушки, управление водными стоками и утилизацию отходов.

**Критерии для сравнительного анализа решений.** Для проведения сравнения и систематизации ряда технологических и организационных решений, описанных в литературе, необходима единая система критериев оценки. На основе обобщения нормативных документов [2–6] и источников литературы [10–15, 17] были выделены следующие ключевые критерии, отражающие цели экологизации и принципы НДТ:

1. Экологическая эффективность (снижение воздействия):



Представленная схема интегрирует различные технологические решения. Для наглядной демонстрации их сравнительной эффективности по установленным критериям сформирована сводная таблица 1. Данная систематизация наглядно демонстрирует, что наиболее полное соответствие критериям НДТ, особенно приоритетному принципу предотвращения загрязнений, обеспечивает комплекс, основанный на применении порошковых красок с рекуперацией в герметичной камере. Решения по концевой очистке, несмотря на распространенность, являются менее предпочтительными с точки зрения ресурсоэффективности.

**Анализ ключевых направлений экологизации.** Рассмотренные в обзоре решения (таблица 1) реализуются через конкретные инженерно-технические мероприятия. Ниже детально анализируются основные направления, соответствующие контурам представленной структурной схемы (рисунок 2).

1. Организация воздухообмена и очистки выбросов (реализация решений 2.1 и 2.2, таблица 1). Основой экологичного окрасочного участка, соответствующего принципам НДТ, является герметичная камера с организованным воздухообменом (контур 1 на рисунке 2). Ее работа строится на двух ключевых принципах:

1) организация приточно-вытяжной вентиляции с избыточным давлением (объем притока превышает объем вытяжки), что исключает образование «мертвых зон» и предотвращает миграцию загрязненного воздуха в смежные помещения;

2) многоступенчатая фильтрация выбросов. На приточной линии устанавливаются фильтры грубой очистки, а на вытяжке – многоуровневая система. Первой ступенью, как правило, служит гидрофильтр (водяная завеса), улавливающий до 95 % красочного аэрозоля. Последующая тонкая очистка осуществляется с помощью бумажных и угольных фильтров, обеспечивающих улавливание мелкодисперсных частиц и паров растворителей. Своевременная замена фильтрующих элементов является критически важной для поддержания эффективности системы.

2. Обработка водных стоков и управление отходами (реализация решений 2.3, таблица 1). Обработка водных стоков (контур 2 на рисунке 2) начинается с отработанной воды из гидрофильтров. Для ее очистки применяется технология коагуляции, при которой реагенты вызывают агрегацию частиц краски в хлопья с последующим их удалением. После коагуляции и сепарации очищенная вода может быть возвращена в производственный цикл, формируя систему оборотного водоснабжения и значительно сокращая водопотребление.

Управление отходами (контур 3 на рисунке 2) включает обращение с образовавшимся шламом и использованными фильтрами, которые относятся к категории опасных отходов. Они подлежат накоплению и передаче лицензированным организациям для обезвреживания или утилизации, что замыкает жизненный цикл материалов в рамках проекта.

3. Применение современных материалов как превентивная мера (реализация решений группы I, таблица 1). Наиболее эффективным направлением минимизации воздействия, соответствующим приоритетным принципам НДТ, является предотвращение образования загрязнений в самом источнике их образования. В отличие от концевой очистки, этот подход направлен на изменение свойств исходных материалов, что ведет не к улавливанию вредных веществ, а к сокращению их образования. Реализуется он за счет применения современных ЛКМ с улучшенным химическим составом, что коренным образом меняет структуру и объем всех последующих потоков загрязнений – выбросов, стоков и отходов. К таким материалам относятся:

1) порошковые краски, полностью исключая выбросы паров растворителей. Системы рекуперации позволяют повторно использовать до 95 % неосевшего материала, сводя к минимуму отходы [9];

2) ЛКМ с низким содержанием ЛОС – материалы на водной основе или с растворителями пониженной опасности, применяемые там, где использование порошковых технологий невозможно.

Таблица 1 – Сравнительная оценка технологий экологизации малярного участка СТО

Критерий оценки / Группа решений	I. ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ			II. ОБОРУДОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА		
	1.1. Жидкие ЛКМ (высокое содержание ЛОС)	1.2. ЛКМ на водной основе	1.3. Порошковые краски с рекуперацией	2.1. Герметичная окрасочная камера	2.2. Многоступенчатая очистка выбросов	2.3. Система оборотного водоснабжения
<b>1. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ</b>						
1.1. Выбросы в атмосферу						
Летучие органические соединения (ЛОС)	Высокие (базовый уровень)	Средние (↓ на 30–60 %)	Отсутствуют (↓ на 100 %)	Способствует улавливанию	Не влияет на источник	Не применимо
Лакокрасочный аэрозоль	Высокие (базовый уровень)	Высокие	Минимальные (↓ > 95 %)*	Необходимое условие для улавливания	Высокая (улавливание до 95 %)	Не применимо
1.2. Образование отходов						
Твердые отходы (шлам, фильтры)	Высокое	Высокое	Минимальное (↓ 90–95 %)	–	Вызывает образование (шлам)	Снижает количество жидких отходов
Жидкие отходы (стоки)	Высокое	Высокое	Отсутствуют	–	Вызывает образование (стоки гидрофильтра)	Ликвидирует (замкнутый цикл)
<b>2. РЕСУРСНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ</b>						
2.1. Использование материала						
Коэффициент использования ЛКМ	Низкий (< 50 %)	Средний (50–65 %)	Очень высокий (95–98 %)	Не применимо	Не применимо	Не применимо
2.2. Потребление ресурсов						
Водопотребление	Высокое	Высокое	Низкое (↓ > 80 %)	–	Высокое (работа гидрофильтра)	Резко снижает общее потребление
Энергопотребление	Среднее	Низкое	Высокое (нагрев, рекуперация)	Среднее (вентиляция)	Низкое	Среднее (насосы)
3. СООТВЕТСТВИЕ ПРИОРИТЕТАМ НДТ	Наименее предпочтительно (принцип – очистка)	Частичное (принцип – частичное предотвращение)	Наиболее полно (принцип – предотвращение)	Обязательный элемент (создает условия)	Наименее приоритетно (принцип – очистка)	Соответствует (принцип – замкнутый цикл)
4. ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ДЛЯ СТО	Низкая сложность. Средние эксплуатационные затраты	Низкая сложность. Низкие эксплуатационные затраты	Высокая сложность внедрения. Высокие капитальные затраты. Низкие эксплуатационные затраты	Средняя сложность. Высокие капитальные затраты	Средняя сложность. Средние эксплуатационные затраты	Средняя сложность. Средние капитальные затраты. Экономия на воде

\* – для порошковой окраски коэффициент потерь аэрозоля ( $\delta_a$ ) стремится к 0 % при эффективной рекуперации.  
Символ ↓ обозначает снижение показателя относительно базового сценария с пневматическим распылением жидких ЛКМ (колонка 1.1).

Для очистки выбросов от печей сушки, содержащих пары растворителей, наиболее эффективны термические и каталитические методы дожигания. Современные установки интегрируют рекуперацию тепла очищенного воздуха для обогрева сушильных камер, повышая энергоэффективность.

**Пример применения методики количественной оценки для базового сценария.**

Качественный сравнительный анализ, представленный в таблице 1, выявляет наиболее предпочтительные решения. Однако для формального инженерного обоснования выбора технологии в составе проектной документации необходима количественная аргументация. Без нее выбор остается субъективным, а соответствие принципам НДТ не может быть доказано объективно. Ключевым инструментом для такого перехода в Российской Федерации служит Методика [17]. Данный документ предоставляет формализованный расчетный аппарат и содержит обширный справочный материал, что позволяет:

- уйти от общих оценок к конкретным, измеряемым величинам (г/ч, кг/год);
- обеспечить сопоставимость различных технологических вариантов;
- обосновать проект перед контролирующими органами на языке нормативов.

В рамках данной работы Методика [17] применяется для иллюстрации ее практического использования.

В качестве базового (наихудшего с экологической точки зрения) сценария принята технологическая комбинация, характерная для действующих СТО, не прошедших модернизацию в соответствии с принципами НДТ:

- материалы: традиционные жидкие ЛКМ с высоким содержанием ЛОС – грунтовка ГФ-0119 и эмаль АС-182;
- способ нанесения ЛКМ: пневматическое распыление;
- оборудование: окрасочная камера без системы рекуперации краски.

На основе данного сценария выполнен расчет, целью которого было получение конкретных числовых показателей экологической нагрузки. Эти показатели служат объективной точкой отсчета для сравнительной оценки эффективности альтернативных решений из таблицы 1. Исходные данные для проведения расчета, включая параметры материалов, технологические коэффициенты и принятые проектные допущения, систематизированы в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета валовых выбросов по базовому сценарию

Категория данных	Конкретное значение / Наименование	Источник (обоснование)
1	2	3
1. Нормативный документ	Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении ЛКМ (на основе удельных показателей)	[17]
2. Принятые ЛКМ	Грунтовка ГФ-0119, Эмаль АС-182	Выбор типовых, широко распространенных на СТО материалов
3. Способ нанесения	Пневматическое распыление	Наиболее распространенная технология в условиях СТО
4. Удельные показатели ЛКМ:		
– доля летучей части, $f_p$	ГФ-0119 – 47 % (ксилол – 100 %); АС-182 – 47 % (ксилол – 85 %, уайт-спирит – 5 %, сольвент – 10 %)	[17, табл. П. 1]

Продолжение таблицы 2

1	2	3
5. Технологические коэффициенты для пневматического распыления:		
– доля ЛКМ, потерянного в виде аэрозоля, $\delta_a$	30 %	[17, табл. П. 2]
– доля паров растворителя, выделившегося при окраске, $\delta_p'$	25 %	[17, табл. П. 2]
– доля паров растворителя, выделившегося при сушке, $\delta_p''$	75 %	[17, табл. П. 2]
6. Принятые проектные параметры:		
– производительность, $S_q$	50 м <sup>2</sup> /ч	[17, табл. 4.2]
– удельный расход ЛКМ, $m_s$	180 г/м <sup>2</sup> (для каждого слоя – грунтовки и эмали)	среднестатистический расход для автомобильных эмалей [21]

Для количественной оценки воздействия базового сценария по Методике [17] определены ключевые расчетные показатели:

1. Расход материала. Масса ЛКМ, расходуемого за час ( $P_0$ , кг/ч), определяется по формуле:

$$P_0 = 0,001 \cdot S_q \cdot m_s, \quad (1)$$

где  $S_q$  – производительность окрашивания, м<sup>2</sup>/ч;

$m_s$  – удельный расход ЛКМ, г/м<sup>2</sup>.

2. Выделение аэрозоля. Масса лакокрасочного аэрозоля ( $\Pi_{н.ок}^a$ , кг) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_{н.ок}^a = 0,0001 \cdot (m_k \cdot \delta_a \cdot (100 - f_p)), \text{ кг}, \quad (2)$$

где  $m_k$  – масса ЛКМ, используемого для покрытия, кг;

$\delta_a$  – доля ЛКМ, теряемого в виде аэрозоля для данного способа нанесения, %;

$f_p$  – доля летучей части в ЛКМ, % масс.

3. Выделение летучих компонентов. Масса  $i$ -го компонента летучей части, выделившегося при окраске ( $\Pi_{ок}^{nap}$ ), кг, и сушке ( $\Pi_c^{nap}$ ), кг, определяется по формулам:

$$\Pi_{ок}^{nap} = 0,0001 m_k \cdot \delta_p' \cdot f_p, \quad (3)$$

$$\Pi_c^{nap} = 0,0001 m_k \cdot \delta_p'' \cdot f_p,$$

где  $\delta_p$  – доля паров растворителя, выделяющихся на соответствующей стадии ( $\delta_p'$  – при окраске,  $\delta_p''$  – при сушке), %.

Подставив в формулы (1)–(3) исходные данные из таблицы 2, получим удельные показатели валового образования загрязнений для полного окрасочного цикла (нанесение грунтовки ГФ-0119 и эмали АС-182). Сводные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные удельные показатели образования загрязнений для базового сценария (на 1 нормо-час полного цикла)

Показатель	Значение	Примечание (ключевые влияющие параметры)
<b>1. Выбросы в атмосферу</b>		
Летучие органические соединения (суммарно)	$\approx 847$ г/ч	Зависит от $f_p$ и выбора ЛКМ. Основной компонент – ксилол (93 %)
Лакокрасочный аэрозоль (взвешенные вещества)	$\approx 2\,860$ г/ч	Прямо пропорционален расходу материала ( $P_0$ ) и коэффициенту $\delta_a$ . Рассчитан по формуле (2) $\sum (P_{н.ок}^a)$ для двух слоев
<b>2. Образование отходов</b>		
Твердые опасные отходы (шлам, фильтры)	2,86–5,8 кг/ч	Оценочный диапазон. Основа – расчетная масса аэрозоля (2,86 кг/ч), к которой добавлена оценка массы шлама от очистки стоков и отработанных фильтров
<b>3. Потребление ресурсов</b>		
Водопотребление системы гидрофльтрации	15–25 л/ч	Характеристика типового оборудования, не регулируется методикой [17]

**Анализ результатов расчета и обоснование выбора технологии НДТ.** Полученные количественные показатели (таблица 3) наглядно иллюстрируют высокую экологическую нагрузку типового участка. Проведенный расчет количественно подтверждает то, что базовый технологический сценарий характеризуется значительной ресурсоемкостью и высоким уровнем воздействия на окружающую среду. Ключевыми факторами, определяющими величину выбросов, являются свойства применяемых материалов (доля летучей части  $f_p$ ) и технологические параметры процесса (коэффициент потерь аэрозоля  $\delta_a$ ).

Следовательно, наиболее эффективной стратегией экологизации, в полной мере соответствующей приоритетному принципу НДТ – предотвращения образования загрязнений, является не совершенствование систем конечной очистки, а переход на материалы и технологии, которые минимизируют или полностью устраняют такие исходные проблемные параметры.

Полученные цифры (выбросы ЛОС  $\approx 847$  г/ч и аэрозоля  $\approx 2\,860$  г/ч) служат критериальной базой для сравнения и объективной точкой отсчета. Например, сопоставление 847 г/ч ЛОС с нулевым выбросом для технологии порошковой окраски (п. 1.3, таблица 1) дает проектировщику прямое количественное обоснование ее преимуществ. Таким образом, применение Методики [17] на этапе проектирования трансформирует выбор технологии из области субъективных предпочтений в плоскость инженерно-обоснованных решений.

Принцип предотвращения образования загрязнений реализуется на фундаментальном уровне порошковая краска. Ее физико-химическая природа принципиально иная: она не содержит жидких растворителей ( $f_p = 0\%$ ), а процесс ее нанесения с системой рекуперации характеризуется крайне низким коэффициентом безвозвратных потерь ( $\delta_a \rightarrow 0\%$ ). Подстановка этих значений в формулы (2) и (3) приводит к тому, что расчетные выбросы ЛОС и аэрозоля устремляются к нулю. Таким образом, количественное экологическое превосходство порошковой технологии не требует отдельного сложного расчета – оно логически вытекает из обнуления ключевых переменных в исходной расчетной модели.

Экологический эффект проявляется в устранении потоков загрязнений и упрощении технологической схемы: отпадает необходимость в очистке выбросов от паров растворителей и организации очистки жидких окрасочных стоков. Рекуперированный избыток краски (до 95–98 %) возвращается в производственный цикл, что сводит к минимуму образование твердых отходов и формирует замкнутый ресурсный контур [9].

**Интеграция методологии оценки ресурсной эффективности.** Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что разработанный систематизированный подход позволяет эффективно решить проблему экологического обоснования малярного участка. Интеграция технологических решений, принципов НДТ и методологии ресурсной оценки в единую схему преобразует разрозненные нормативные требования в практический инструмент, обеспечивающий не только формальное соответствие законодательству, но и создающий основу для проектирования ресурсоэффективных АСП.

### **Выводы**

1. На основе проведенного аналитического обзора нормативных, технологических и методических источников систематизированы решения для экологизации малярного участка СТО. Разработана структурная схема комплексного управления потоками загрязнений, а также предложена и применена система критериев для их сравнительной оценки, включающая экологическую и ресурсную эффективность, соответствие НДТ и целесообразность для предприятия автосервиса.

2. Проведенный на основе системы критериев сравнительный анализ (таблица 1) показал, что максимальное соответствие приоритетному принципу НДТ предотвращения образования загрязнений обеспечивает комплекс на основе порошковой окраски с рекуперацией. Данная технология принципиально меняет параметры воздействия ( $f_p = 0\%$ ,  $\delta_a \rightarrow 0\%$ ), что ведет к устранению выбросов ЛОС и сокращению образования отходов на 90–95 %, формируя замкнутый ресурсный цикл. Технологии концевой очистки, напротив, снижают свою актуальность вследствие низкой ресурсоэффективности.

3. Для перехода от декларативного соответствия к доказательному проектированию рассмотрен и рекомендован к применению инструмент количественного обоснования – официальная Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении ЛКМ (на основе удельных показателей) [17]. Выполненный на ее основе расчет для базового сценария (выбросы ЛОС  $\approx 847$  г/ч и аэрозоля  $\approx 2\,860$  г/ч) не только задал объективную точку отсчета, но и наглядно показал, как выбор оптимальной с точки зрения НДТ технологии (порошковой окраски с рекуперацией) трансформирует экологические требования в инструмент проектной оптимизации.

4. Перспективным направлением является разработка технико-экономических моделей для адаптации предложенного комплекса решений к условиям СТО различной мощности и специализации.

*Работа выполнена за счёт средств федерального бюджета.*

### **Список литературы**

1. Сытник, Е. С. Анализ специфики экологических рисков и угроз в управлении техногенными отходами системы автосервиса / Е. С. Сытник. – Текст : электронный // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-1(87). – С. 56–64. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-56-64. – EDN MYUCHV. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75253386> (дата обращения: 07.10.2025).
2. О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 21.07.2014 № 219-ФЗ : принят Государственной Думой 2 июля 2014 года : одобрен Советом Федерации 9 июля 2014 года : редакция от 08.08.2024. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=474527> (дата обращения: 08.10.2025). – Текст : электронный.
3. Об охране окружающей среды : Федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2002 № 7-ФЗ : принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года : одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года : редакция от 26.12.2024. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501152> (дата обращения: 09.10.2025). – Текст : электронный.
4. Об охране атмосферного воздуха : Федеральный закон Российской Федерации от 04.05.1999 № 96-ФЗ : принят Государственной Думой 2 апреля 1999 год : одобрен Советом Федерации 22 апреля 1999 года : редакция от 08.08.2024. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=452893> (дата обращения: 10.10.2025). – Текст : электронный.



20. Химики - автолюбителям / [Б. Б. Бобович, Г. В. Бровак, Б. М. Бунаков и др.] ; под общ. ред. А. Я. Малкина. – 2-е изд., испр. – Ленинград : Химия : Ленингр. отделение, 1991. – 318 с. – ISBN 5-7245-0798-6.
21. Эмаль АС-182 для спецтехники. – Текст. Изображение : электронные // Химтэк : [сайт]. – URL: [https://himtekar.ru/catalog/paints/as\\_182/](https://himtekar.ru/catalog/paints/as_182/) (дата обращения: 31.10.2025).

### References

1. Sytnik E. S. Analysis of the Specifics of Environmental Risks and Threats in Man-Made Waste Management of a Car Service System. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. [World of Transport and Technological Machines]. 2024. № 4-1(87). Pp. 56–64. (In Russ.) DOI 10.33979/2073-7432-2024-4-1(87)-56-64. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=75253386>
2. On Amendments to the Federal Law “On Environmental Protection” and Certain Legislative Acts of the Russian Federation : Federal Law of the Russian Federation of July 21, 2014 No. 219-FZ: adopted by the State Duma on July 2, 2014: approved by the Federation Council on July 9, 2014: revised on August 8, 2024. (In Russ.) URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=474527>
3. On environmental protection : Federal Law of the Russian Federation of 10.01.2002 No. 7-FZ: adopted by the State Duma on December 20, 2001: approved by the Federation Council on December 26, 2001: revised on December 26, 2024. (In Russ.) URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501152>
4. On the protection of atmospheric air : Federal Law of the Russian Federation of 04.05.1999 No. 96-FZ: adopted by the State Duma on April 2, 1999: approved by the Federation Council on April 22, 1999: revised on 08.08.2024. (In Russ.) URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=452893>
5. On production and consumption waste : Federal Law of the Russian Federation of June 24, 1998 No. 89-FZ: adopted by the State Duma on May 22, 1998: approved by the Federation Council: revised on July 31, 2025. (In Russ.) URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501247>
6. On the introduction of a new version of the sanitary and epidemiological rules and regulations SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03 “Sanitary protection zones and sanitary classification of enterprises, structures and other objects” : Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated September 25, 2007 No. 74: version dated November 15, 2024. (In Russ.) URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=487357>
7. Timerkhanov, A. The regions of the Russian Federation with more than 1 million passenger cars have been identified. *Autostat: analytical agency* : [website]. 2025. (In Russ.) URL: <https://www.autostat.ru/infographics/59825/>
8. The average age of a car in Russia has been announced. *Auto Mail* : [website]. (In Russ.) URL: <https://auto.mail.ru/article/102764-nazvan-srednij-voznrast-avtomobilya-v-rossii/>
9. Bybina Ya. Yu. The Impact of Automotive Paint Shops on the Environment. *Aktu-al'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki*. [Current Issues in Aviation and Cosmonautics]. 2010. Vol. 1, No. 6. P. 246. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22634295>
10. Best available technologies and integrated environmental permits: application prospects in Russia: monograph. M. V. Begak, T. V. Guseva, T. V. Boravskaya [et al.]. Moscow : YurInfoR-Press, 2010. 220 p. (In Russ.) ISBN 978-5-9587-0019-6. EDN UGDHIZ. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23910887>
11. ITS 9-2020. Waste recycling and disposal by thermal methods: information and technical reference book on the best available technologies: the procedure for developing the reference book is established by the Decree of the Government of the Russian Federation of December 23, 2014 No. 1458: developed by the technical working group (TRG 9), the composition of which was approved by the Order of the Ministry of Industry and Trade of Russia dated April 3, 2020 No. 1118 (as amended by the Order of the Ministry of Industry and Trade of Russia No. 4094 dated November 24, 2020) Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Moscow : Bureau of NDT, 2020. 200 p. (In Russ.) URL: <https://wm.turkmenistan.ecoline-int.org/wp-content/uploads/2021/06/ITS-NDT-9-2020.pdf>
12. Burmatova O. P. The place of the best available technologies in the system of environmental regulation of Russia. *Interehkspo Geo-Sibir'*. [Inter Expo Geo-Siberia]. 2018. Vol. 2, № 3. Pp. 45–53. (In Russ.) EDN VJWYOF. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36289278>
13. Shestopalova L. P. Study of the Technical Condition of a Vehicle’s Paint and Varnish Coating. Part 1. Application and Formation of the Paint and Varnish Coating on a Vehicle Body. *Problemy ehkspertizy v avtomobil'no-dorozhnoi otrasli*. [Expertise Issues in the Automobile and Road Industry]. 2024. № 1(10). Pp. 36–54. (In Russ.) EDN LZLBUQ. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tehnicheskogo-sostoyaniya-lakokrasochnogo-pokrytiya-avtomobilya-chast-1-nanesenie-i-formirovanie-lakokrasochnogo/viewer>
14. Shestopalova L. P. Study of the Technical Condition of Vehicle Paintwork. Part 2. Types and Properties of Automotive Enamels. *Problemy ehkspertizy v avtomobil'no-dorozhnoi otrasli*. [Expertise Issues in the Automobile and Road Industry]. 2024. № 4(13). Pp. 3–23. (In Russ.) EDN UCLJFV. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80646975>
15. SPK-Group. Organization of environmentally friendly paint production : [website]. URL: <https://spk-group.pro/clauses/ekologichnoe-proizvodstvo>
16. Sergienko O. I. Evaluation of Resource Efficiency and Environmental Impact of Technological Processes at an Automotive Industry Enterprise. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO*. 2015. № 4. Pp. 342–352. (Ehkonomika i ehkologicheskii menedzhment). [Scientific journal of NRU ITMO (Economics and environmental management)]. EDN UYWPGR. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24899193>

17. Methodology for calculating emissions of pollutants into the atmosphere during the application of paints and varnishes (based on specific indicators): approved by Order No. 497 of the State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection dated November 12, 1997; reviewed and approved at meeting No. 2 of the Scientific and Technical Council of JSC Research Institute "Atmosfera" dated January 14, 2021; developed by the Research Institute for Atmospheric Air Protection. St. Petersburg, 1997. 36 p. (In Russ.) URL: <https://www.nii-atmosphere.ru/wp-content/uploads/2021/08/utochn-metodika-lakokraska-2021.pdf>
18. Filatov M. I. Determining the Need for Paints and Varnishes at a Passenger Transport Enterprise. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii*. [Intelligence. Innovations. Investments]. 2017. № 2. Pp. 48–53. EDN YNLKBP. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29129385>
19. Solonnikova N. V. Organizational and Technical Measures to Improve Working Conditions in the Paint Shop of a Motor Transport Enterprise. *Nauchnye trudy KubGTU : ehlektronnyi setevoi politematicheskii zhurnal*. [Scientific works of KubSTU : electronic online polythematic journal]. 2019. № 3. Pp. 458–467. EDN TLHWAD. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38099018>
20. Chemists for car enthusiasts. [B. B. Bobovich, G. V. Brovak, B. M. Bunakov, et al.] ; edited by A. Ya. Malkin. 2nd ed., corrected. Leningrad : Chemistry : Leningrad Branch, 1991. 318 p. (In Russ.) ISBN 5-7245-0798-6.
21. Enamel AC-182 for special equipment. "Khimtek" : [website]. (In Russ.) URL: [https://himtekyar.ru/catalog/paints/as\\_182/](https://himtekyar.ru/catalog/paints/as_182/)

*Статья поступила 03.11.2025*

© Е. С. Сытник, Д. Ю. Пащенко, В. И. Безухов, П. В. Лаврентьев, 2025

*Рецензент: С. В. Никульшин, канд. техн. наук, доц.,*

*Автомобильно-дорожный институт*

*(филиал) ДонНТУ в г. Горловка*

***Е. С. Сытник, Д. Ю. Пащенко, В. И. Безухов, П. В. Лаврентьев***

**Экологическое обоснование организации малярного участка при проектировании станции технического обслуживания**

Проектирование экологически безопасных малярных участков станций технического обслуживания (СТО) становится критически важной задачей в связи со старением автопарка, расширением сети СТО и ужесточением природоохранного законодательства, требующего применения наилучших доступных технологий (НДТ).

Для экологического обоснования организации малярного участка, соответствующего принципам НДТ, и его интеграции в практическую схему проектирования СТО проведена систематизация и сравнительный анализ существующих инженерно-технических решений и методологических подходов.

Проведен аналитический обзор нормативных, технологических и методических источников. Для сравнительного анализа решений разработана система критериев, включающая экологическую эффективность (выбросы, отходы), ресурсную эффективность, соответствие приоритетам НДТ и целесообразность для СТО. Количественная оценка выполнена с применением официальной Методики расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при нанесении лакокрасочных материалов (на основе удельных показателей), утвержденной Госкомэкологии России.

На основе системы критериев систематизированы существующие решения, разработана структурная схема комплексной системы экологизации и проведен их сравнительный анализ. Установлено, что максимальное соответствие принципу НДТ «предотвращение образования загрязнений» обеспечивает комплекс на основе технологии порошковой окраски с рекуперацией. Для базового (наихудшего с экологической точки зрения) сценария с использованием жидких лакокрасочных материалов выполнен расчет, показавший образование до 847 г/ч летучих органических соединений и 2 860 г/ч лакокрасочного аэрозоля, что зададо объективную точку отсчета для сравнения.

Применение системного подхода, объединяющего сравнительный анализ решений по установленным критериям НДТ и инструменты количественной оценки, позволяет на этапе проектирования перейти от формального соответствия нормативам к инженерно обоснованному выбору технологий. Полученные результаты, в частности, оценка сравнительной ресурсоэффективности превентивных решений и технологий концевой очистки, подтверждают, что данный подход создает основу для проектирования конкурентоспособных и экологически устойчивых СТО.

**СТАНЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, УЧАСТОК МАЛЯРНЫЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ, НАИЛУЧШИЕ ДОСТУПНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УТИЛИЗАЦИЯ, ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*E. S. Sytnik, D. Iu. Pashchenko, V. I. Bezukhov, P. V. Lavrentiev*

### **Environmental Justification for the Paint Shop Organization When Designing a Service Station**

Designing environmentally friendly paint shops for service stations (SS) is becoming a critical task due to the aging vehicle fleet, the expansion of the SS network, and the tightening of environmental legislation requiring the use of best available technologies (BAT).

The systematization and comparative analysis of existing engineering solutions and methodological approaches are carried out to provide the environmental justification for the organization of a paint shop that complies with BAT principles and its integration into the practical design scheme of a service station.

The analytical review of regulatory, technological and methodological sources is conducted. To compare solutions, a system of criteria, including environmental efficiency (emissions, waste), resource efficiency, compliance with BAT priorities, and feasibility for the service organization, is developed. The quantitative assessment is carried out using the official Methodology for calculating emissions of pollutants into the atmosphere during the application of paints and varnishes (based on specific indicators), approved by the State Committee on Ecology of Russia.

Based on the criteria system, existing solutions are systematized, a structural diagram of the integrated greening system is developed, and a comparative analysis is conducted. It is established that maximum compliance with the BAT principle of "prevention of pollution formation" is ensured by a complex based on powder coating technology with recovery. For the baseline scenario (worst-case scenario from an environmental point of view) using liquid paints and varnishes, the calculation is performed showing the formation of up to 847 g/h of volatile organic compounds and 2,860 g/h of paint and varnish aerosol, which provided an objective starting point for comparison.

The use of the systems approach, combining the comparative analysis of solutions based on established BAT criteria and quantitative assessment tools, allows for the transition from formal compliance with regulations to an engineering-based choice of technologies at the design stage. The results obtained, in particular the assessment of the comparative resource efficiency of preventive solutions and end-of-life cleaning technologies, confirm that this approach provides a basis for the design of competitive and environmentally sustainable service stations.

**SERVICE STATION, PAINT SHOP, ENVIRONMENTAL JUSTIFICATION, BEST AVAILABLE TECHNIQUES, RECYCLING, HARMFUL EMISSIONS, ENVIRONMENTAL PROTECTION**

#### **Сведения об авторах:**

##### **Сытник Елена Сергеевна**

Кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Автомобильный транспорт» Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

SPIN-код РИНЦ: 2595-6775  
AutorID: 1209280  
ORCID 0009-0006-0652-1650  
Телефон: +7 949 720-59-57  
Эл. почта: ess007@bk.ru

##### **Пашченко Дмитрий Юрьевич**

Студент Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

SPIN-код РИНЦ: 5470-1368  
AuthorID: 1311000  
Телефон: +7 949 314-09-10  
Эл. почта: andr\_e@mail.ru

##### **Безухов Владислав Игоревич**

Магистрант Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

Телефон: +7 949 720-59-57

##### **Лаврентьев Павел Владимирович**

Магистрант Автомобильно-дорожного института (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донецкий национальный технический университет» в г. Горловка, ДНР, Российская Федерация,

Телефон: +7 921 417-90-47

**Authors' information:****Sytnik Elena Sergeevna**

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor of the Chair "Automobile Transport" of Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

RSCI SPIN: 2595-6775  
AutorID: 1209280  
ORCID 0009-0006-0652-1650  
Phone: +7 949 720-59-57  
Email: ess007@bk.ru

**Pashchenko Dmitrii Iurievich**

Student of Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

RSCI SPIN: 5470-1368  
Author ID: 1311000  
Phone: +7 949 314-09-10  
Email: andr\_e@mail.ru

**Bezukhov Vladislav Igorevich**

Master's Student of Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

Phone: +7 949 720-59-57

**Lavrentiev Pavel Vladimirovich**

Master's Student of Automobile and Road Institute (Branch) of the Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Donetsk National Technical University" in Gorlovka, DPR, Russian Federation,

Phone: +7 921 417-90-47