

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.42.92.010

УДК 66.074.912

© К.В. Кузьмин, А.О. Сухова, И.И. Макеев, 2026

К.В. КУЗЬМИН

студент

ТамбГТУ, г. Тамбов

e-mail: kirya.kuzmin.2003@mail.ru



А. О. СУХОВА

канд. техн. наук,

доцент кафедры

ТамбГТУ, г. Тамбов

e-mail: apil1@yandex.ru



И. И. МАКЕЕВ

студент

ТамбГТУ, г. Тамбов

e-mail: ilya-makeev-2016@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫБРОСОВ НАФТАЛИНА ОТ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Статья посвящена актуальной экологической проблеме — исследованию выбросов нафталина (С10Н8) от химических предприятий Тамбовской области в контексте реализации национального проекта «Экологическое благополучие» (2025–2030 гг.). Цель работы заключается в комплексном анализе источников загрязнения, количественной оценке объёмов выбросов и научно обоснованном выборе наиболее эффективного метода очистки отходящих газов от паров нафталина с учётом современных требований природоохранного законодательства.

В ходе исследования установлено, что доминирующим источником поступления нафталина в атмосферу является цех диспергаторов. Выполнен детальный анализ валовых выбросов участка, суммарный объём которых достигает 1,663 тонны в год, а также определена доля нафталина среди приоритетных загрязнителей. Особое внимание уделено многофакторной опасности данного вещества: нафталин обладает выраженной токсичностью, канцерогенными свойствами (группа 2В по классификации IARC), относится к стойким органическим загрязнителям, способен к биоаккумуляции в пищевых цепях и трансграничному атмосферному переносу, что подчёркивает острую необходимость внедрения жёстких мер контроля и высокоэффективных технологий глубокой очистки промышленных выбросов.

Авторами проведён сравнительный анализ известных методов улавливания паров нафталина (абсорбция органическими растворителями, адсорбция на твёрдых сорбентах, конденсация, термическое и каталитическое окисление). На основании многофакторной балльной оценки установлено преимущество адсорбционного метода, который обеспечивает стабильно высокую степень очистки (до 95–98 %) при умеренных затратах и приемлемой простоте эксплуатации.

В статье подробно представлен предлагаемый технологический процесс очистки на основе адсорбционной установки периодического/непрерывного действия. Описана принципиальная схема, включающая параллельные адсорберы с гранулированным активированным углём, систему теплообменников для рекуперации тепла десорбции, конденсатор-сепаратор и вакуумный насос. Приведён инженерный расчёт скорости испарения нафталина с открытой поверхности (17,3 кг/ч), подтверждающий высокую эффективность проектируемой системы. Доказано, что внедрение технологии позволяет устойчиво снизить концентрацию нафталина в выбросах до нормативных значений (менее 5 мг/м³ по СанПиН 1.2.3685–21), организовать рекуперацию до 95 %-ного технического нафталина, утилизировать вторичное тепло десорбции и повторно использовать технический конденсат в производственном цикле. Интеграция установки с системой автоматизированного управления SCADA обеспечивает непрерывный мониторинг, оперативную диагностику и оптимизацию энергопотребления, что переводит природоохранные мероприятия из категории чисто затратных в частично самокупаемые и существенно повышает общий уровень экологической безопасности Тамбовской области.

Ключевые слова: ИСТОЧНИК ВЫБРОСОВ, ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ, НАФТАЛИН, АДСОРБЕР, КОНДЕНСАТОР-СЕПАРАТОР.

В рамках национального проекта «Экологическое благополучие» (2025–2030 гг.), являющегося логическим продолжением национального проекта «Экология», перед Российской Федерацией поставлены стратегически важные задачи по снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Одним из ключевых ориентиров является поэтапное сокращение выбросов опасных загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее негативное воздействие на экологическое состояние и здоровье населения, — на 50 % к 2036 году по сравнению с базовым уровнем. Для химической промышленности достижение данной цели требует системного и междисциплинарного подхода, объединяющего технологическую модернизацию, внедрение наилучших доступных технологий, совершенствование систем контроля и управления. Проблема взаимодействия химической отрасли и экологического регулирования носит многоплановый характер. С одной стороны, химическая промышленность обеспечивает производство жизненно важных товаров и материалов для экономики; с другой — ряд производств остаётся источником приоритетных загрязнителей, требующих целенаправленного и быстрореализуемого снижения.

Проблема взаимодействия химической промышленности и экологии представляет одну из важнейших современных задач. Хотя

химическая индустрия обеспечивает общество необходимыми товарами, она создает серьезные угрозы для окружающей среды и требует пристального внимания к вопросам загрязнения. Очистка промышленных газов от вредного нафталина представляет собой задачу, стоящую перед современной промышленностью. По имеющимся данным, ежегодный выброс нафталина в земную атмосферу в РФ исчисляется тысячами тонн и, по разным оценкам, достигает громадной цифры от 1000 до 2000 тонн [1].

Колоссальные объемы выбросов обуславливают необходимость разработки и внедрения высокоэффективных и экономичных методов очистки. Нафталин представляет особую опасность, поскольку является токсичным и канцерогенным веществом, способным накапливаться в окружающей среде и живых организмах. Его выбросы происходят на различных этапах технологического цикла в коксохимическом, нефтеперерабатывающем и химическом производствах.

В этой связи актуальной задачей является поиск и оптимизация способов улавливания нафталина из промышленных газов. В настоящее время существуют различные методы, такие как адсорбция, абсорбция и конденсация, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Однако растущие экологические стандарты и ужесточение

законодательства диктуют необходимость создания более совершенных технологий, обеспечивающих глубокую очистку и позволяющих утилизировать или возвращать в производственный цикл ценные углеродсодержащие компоненты.

Выбрасываемые в атмосферу вещества от химических предприятий: серная кислота, нафталин, формальдегид, оксид железа, оксид алюминия, оксид азота, диоксид азота, марганец и его соединения, фтористые газообразные соединения, пыль неорганическая, диоксид кремния. Объем валовых выбросов участка диспергаторов от химических предприятий — 1,663 тонны [2].

Загрязняющими веществами по валовому выбросу (более 5% от суммарного выброса) на существующее положение являются:

– Формальдегид — 10–15% (является сильнейшим раздражителем слизистых оболочек и обладает доказанным канцерогенным действием.);

– Летучие органические соединения (ЛОС) — 8–12% (обширная группа веществ, многие из которых вредны для центральной нервной системы, печени, почек и являются предшественниками фотохимического смога.);

– Аммиак — 5–8% (обладает резким запахом, вызывает раздражение дыхательных путей и, соединяясь с кислыми газами в атмосфере, образует вредные мелкодисперсные частицы.);

– Пыль (взвешенные вещества) — 5–7% (представляет серьезную опасность, так как диоксид кремния (кремнезем) при длительном вдыхании вызывает силикоз — неизлечимое профессиональное заболевание легких.)

Несмотря на то, что валовый объем выбросов участка диспергаторов кажется относительно невысоким (1,663 тонны), его качественный состав свидетельствует о значительной экологической опасности.

Нафталин представляет серьезную опасность для здоровья человека и экосистем. При остром отравлении приводит к гемолитической анемии, неврологическим нарушениям, а также тошноте и рвоте. Хроническое воздействие вызывает необратимые поражения

печени и почек, способствует развитию катаракты. Особую угрозу нафталин представляет для беременных: приводит к тяжелой анемии и желтухе новорождённых.

Экологический ущерб носит долгосрочный и необратимый характер. Нафталин активно накапливается в почве и водных средах, концентрируясь в пищевых цепях. Без применения природоохранных мер это провоцирует региональные кризисы с распространением отравляющих веществ [3].

Кроме того, нафталин классифицируется как стойкое органическое загрязнение (СОЗ) с потенциалом биоаккумуляции. Его способность к миграции на значительные расстояния приводит к загрязнению даже тех территорий, которые удалены от непосредственного источника выбросов. Это трансграничное воздействие усугубляет экологические проблемы в глобальном масштабе.

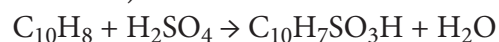
Проблема выбросов нафталина выходит за рамки локальной экологической задачи и приобретает характер стратегической проблемы, затрагивающей здоровье нации, устойчивость экосистем и экономическую безопасность. Это подчеркивает критическую важность разработки и внедрения высокоэффективных методов очистки, которые позволят не только достичь целевых показателей, установленных Указом Президента, но и минимизировать долгосрочные риски для общества и природы.

Основным загрязнителем $C_{10}H_8$ на производствах является цех диспергаторов. Основным оборудованием для улавливания паров нафталина в цеху является ловушка с сульфуратором.

Принцип работы:

1. Сульфирование паров

Нафталин ($C_{10}H_8$) реагирует с серной кислотой (H_2SO_4) при повышенной температуре (100–160 °C):



Образуется нафталинсульфоновая кислота — твердое вещество, которое осаждается в ловушке.

2. Механизм улавливания

Пары нафталина подаются в реакционную зону, где контактируют с серной кислотой.

Реакция протекает в газо-жидкостной или газо-твёрдой фазе (например, на поверхности кислоты или катализатора).

Продукты реакции (сульфо кислоты) отделяются в виде осадка или раствора.

В настоящее время используются следующие доступные технологии очистки выбросов от нафталина:

- абсорбция
- адсорбция
- конденсация
- каталитическое окисление
- комбинированные методы

В таблице 1 (см. следующую стр.) представлен сравнительный анализ вышеизложенных методов.

Из таблицы 2 видно, что наиболее эффективным способом очистки газопылевых выбросов от нафталина является адсорбционный способ. В отличие от других способов очистки, данный способ является самым продуктивным и не сильно затратным, но также у него есть свой минус, заключающийся в необходимости регенерации адсорбента. Поэтому со всех точек зрения выбираем адсорбционный метод.

Данный метод обеспечивает оптимальный баланс между эффективностью, экономической целесообразностью и гибкостью применения:

1) Достижение требуемых нормативов очистки: адсорбция, особенно на активных углях, позволяет достичь предельно низких концентраций нафталина на выходе, что

критически важно для соблюдения современных экологических стандартов. Это является решающим преимуществом перед конденсационным методом, который неэффективен при малых концентрациях.

2) Экономическая эффективность в долгосрочной перспективе: хотя первоначальные затраты на адсорбер и закупку адсорбента могут быть значительными, сам процесс адсорбции не является энергоёмким. Стоимость одного цикла очистки относительно невысока. В отличие от каталитического окисления, метод не требует постоянных больших затрат энергии на поддержание высокой температуры, а в отличие от абсорбции — на регенерацию большого объема жидкости.

3) Универсальность и надежность: Адсорбционные установки хорошо работают в широком диапазоне расходов газа и нечувствительны к колебаниям концентрации нафталина. Они являются отработанным и надежным технологическим решением.

Основной недостаток — необходимость регенерации адсорбента — не является непреодолимым и может быть эффективно управляем:

- применение установок с несколькими адсорберами: на практике используются системы из двух и более адсорберов, работающих в противофазе (пока один работает на очистку, другой находится на регенерации). Это обеспечивает непрерывность технологического процесса.

Таблица 2

Выбор оптимального метода

№ пп.	Название метода и источник	Критерии оценки				Итог
		Экологичность	Технологичность	Экономичность	Социальность	
1	Абсорбционный метод	—	++	+-	+-	4+, 4-
2	Адсорбционный метод	+-	++	+-	++	6+, 2-
3	Конденсационный метод	+-	++	—	+-	4+, 4-
4	Каталитическое окисление	+-	+-	+-	+-	4+, 4-

Таблица 1

Сравнительный анализ методов очистки выбросов от нафталина

Способы обработки	Достоинства	Недостатки
1	2	3
Абсорбционный метод	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая эффективность очистки • Возможность очистки больших объемов газа • Возможность извлечения и утилизации нафталина в виде товарного продукта • Использование дешевых и доступных абсорбентов (например, дизельное топливо, легкие масла) • Хорошо отработанная и надежная технология 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость регенерации абсорбента (обычно дистилляцией), что требует дополнительных энергозатрат • Возможные потери абсорбента с уносимым газом или с продуктом • Затраты на оборудование (абсорберы, десорберы, теплообменники) и реагенты • Образование жидких отходов, требующих утилизации
Адсорбционный метод	<p>Очень высокая эффективность очистки, особенно при низких концентрациях нафталина</p> <ul style="list-style-type: none"> • Возможность использования при высоких температурах (для термостойких адсорбентов) • Относительно простая технология на стадии адсорбции • Возможность использования различных адсорбентов (активированный уголь, силикагель, цеолиты) 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость регенерации адсорбента (часто требуется нагрев), что увеличивает сложность и стоимость процесса • Потенциальное загрязнение окружающей среды при неэффективной регенерации или утилизации отработанного адсорбента • Возможное снижение эффективности адсорбента со временем из-за дезактивации и механического износа • Высокая стоимость высокоэффективных адсорбентов
Конденсационный метод	<ul style="list-style-type: none"> • Относительно простая технология. • Не требует использования химических реагентов • Высокая эффективность при высоких концентрациях нафталина и низких температурах • Прямое получение твердого нафталина 	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая эффективность при низких концентрациях нафталина • Необходимость использования энергоемкого оборудования для глубокого охлаждения газа • Проблемы с забиванием оборудования (теплообменников, сепараторов) кристаллами нафталина, особенно при несовершенной сепарации • Возможны потери нафталина из-за его сублимации (перехода из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое)
Каталитическое окисление	<ul style="list-style-type: none"> • Полное разрушение нафталина до CO₂ и H₂O, а не его перевод в другую форму • Высокая эффективность очистки, особенно при высоких концентрациях нафталина • Относительно небольшой объем отходов (в основном, инертный зольный остаток) • Уничтожение других токсичных органических соединений в газовом потоке 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокие затраты на оборудование (реактор, горелки, система теплообмена) и катализатор • Высокие эксплуатационные расходы, связанные с потреблением энергии для поддержания высокой температуры (обычно 200–400 °С) • Возможное отравление катализатора другими компонентами газового потока (сера, соединения тяжелых металлов) • Необходимость в эффективной системе контроля температуры и давления • Риск образования побочных продуктов неполного окисления (например, диоксинов)

• современные методы регенерации: наиболее распространенный способ регенерации — продувка адсорбента горячим паром или инертным газом. Выделенный при этом нафталин конденсируется и может быть утилизирован как товарный продукт, что частично компенсирует эксплуатационные расходы. Этот подход решает и проблему потенциального загрязнения окружающей среды, так как нафталин не уничтожается, а целенаправленно извлекается.

• автоматизация контроля: современные адсорбционные установки оснащаются системами автоматического контроля, которые отслеживают «проскок» нафталина и своевременно инициируют цикл регенерации, предотвращая снижение эффективности.

Таким образом, адсорбционный метод очистки является наиболее сбалансированным и технико-экономически обоснованным решением для удаления нафталина из газопылевых выбросов. Его ключевое преимущество — способность обеспечивать стабильно высокую степень очистки при умеренных эксплуатационных затратах. Недостатки, связанные с цикличностью работы и необходимостью регенерации, успешно нивелируются правильным инженерным проектированием (использование сдвоенных установок) и выбором эффективного метода десорбции, что делает адсорбцию предпочтительным выбором в большинстве промышленных сценариев.

Рассмотрим один из сценариев, опираясь на патент Махлина В. А., Иванова С. И., Окунева Б. Н., Романчука С. В., Эвенчика А. С. «Способ адсорбционно-конденсационной очистки газовых выбросов». В данном патенте мы можем увидеть адсорбционный метод в действии [4]. Схема представлена на рисунке 1.

Основным источником нафталиновых паров является процесс сульфатации нафталина. Нафталин самотоком перетекает в хим. реактор сульфатирования из мерника объемом 3500 тыс. литров при температуре 100 градусов. Процесс подачи нафталина организован ритмично — порции сырья поступают в реактор через заданные временные интервалы, что обеспечивает равномерность

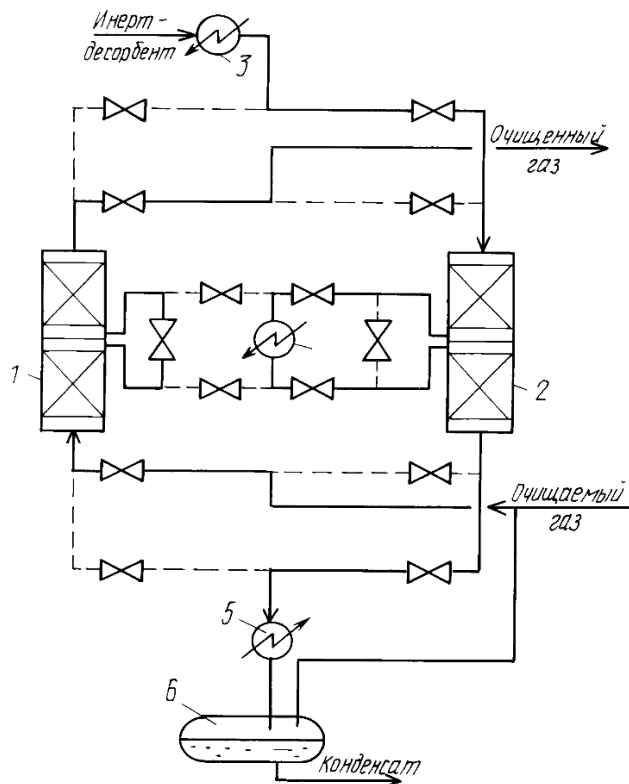


Рис. 1. Схема адсорбционной установки: 1 — адсорбер; 2 — адсорбер; 3 — теплообменник; 4 — выносной теплообменник; 5 — конденсатор; 6 — фазоразделитель [4]

протекания реакции и контроль над выделением паров. Давление насыщенного пара составляет 10–13 Па. Испарение с открытой поверхности можно оценить по формуле 1.

$$M_{\text{испр}} = P \cdot S \cdot t \cdot \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} \quad (1)$$

где $P = 13,3$ Па (максимальное давление пара), $S = 0,28$ м² (площадь открытой поверхности), $M = 0,128$ кг/моль (молярная масса нафталина), R (универсальная газовая постоянная), $T = 373$ К (температура), $t = 1800$ с (время процесса).

Подстановка значений даёт максимальную скорость испарения $M_{\text{испр}} = 17,3$ кг/ч.

Для минимизации выбросов над ёмкостью установлена буферная ловушка объёмом 6,3 м³, оснащённая внешним контуром охлаждения до 20 °С. Охлаждение смещает термодинамическое равновесие, снижая концентрацию паров нафталина до 0,1 г/м³. Несконденсированные остатки поступают

в угольный адсорбер, где активированный уголь сорбирует до 95 % оставшихся паров. Насыщенный нафталином уголь регенерируется перегретым паром (150–200 °С), который десорбирует вещество, возвращая его в производственный цикл.

Внедрение системы очистки позволяет получать несколько ценных продуктов и ресурсов, которые не только снижают экологическую нагрузку, но и повышают экономическую эффективность предприятия. Основным продуктом является рекуперативный нафталин с чистотой не менее 95 %, который собирается в конденсаторе-сепараторе после очистки газовых выбросов. Этот нафталин возвращается в производственный цикл для синтеза красителей и промежуточных химических соединений, а также может быть продан на рынке как сырьё для изготовления фталевых ангидридов, инсектицидов и пластификаторов.

Очищенные газовые выбросы, содержащие не более 5 мг/м³ нафталина, соответствуют требованиям СанПиН 1.2.3685–21 и безопасно выводятся в атмосферу [5]. При наличии оборудования для рециркуляции эти газы могут повторно использоваться в технологических процессах предприятия, что снижает потребление свежего воздуха.

Система также обеспечивает утилизацию вторичного тепла, выделяемого при конденсации паров и работе парогенератора. Теплоноситель с температурой 50–60 °С применяется для подогрева воды в котельной или отопления вспомогательных помещений, что экономит до 50 тыс. руб. в год на энергоресурсах.

Отработанный активированный уголь, утративший адсорбционную способность, либо регенерируется на специализированных установках прокалкой при 800 °С, либо утилизируется как отход IV класса опасности через сжигание в печах с дожиганием. Это минимизирует экологические риски и соответствует требованиям законодательства [6].

Техническая вода, образующаяся в виде конденсата, после умягчения повторно используется в парогенераторе или для мойки оборудования, сокращая потребление свежей

воды. Данные с датчиков системы мониторинга (расходы, температура, давление) интегрируются в SCADA-систему и используются для формирования экологической отчётности, оптимизации режимов работы оборудования и прогнозирования его износа.

Внедрение описанной адсорбционной системы с замкнутыми циклами рециркуляции и утилизации вторичных ресурсов позволяет перевести процесс очистки газовых выбросов из разряда затратных статей в экономически нейтральную или даже частично окупаемую:

1. Экономии сырья и энергии: Рециркуляция очищенных газов снижает нагрузку на системы вентиляции и подогрева свежего воздуха. Утилизация вторичного тепла для нужд котельной и отопления позволяет экономить до 50 тыс. руб. в год и более, в зависимости от тарифов и масштабов производства.

2. Сокращения водопотребления: Повторное использование технического конденсата в технологическом цикле значительно снижает расход покупной воды и плату за водоотведение [7].

3. Минимизации платежей за негативное воздействие на окружающую среду (НВОС): Стабильное соответствие выбросов строгим нормативам СанПиН 1.2.3685–21 позволяет предприятию избежать многомиллионных штрафов и экологических сборов.

Повышение операционной эффективности:

Интеграция данных в SCADA-систему не только автоматизирует экологическую отчетность, но и переводит управление ресурсами на качественно новый уровень. Анализ данных в реальном времени позволяет:

- Оптимизировать циклы регенерации адсорбера, предотвращая преждевременный износ угля и неоправданные энергозатраты [8].

- Внедрить систему предиктивного обслуживания, планируя ремонты оборудования до возникновения критических сбоев.

- Точно рассчитывать удельные расходы реагентов, воды и энергии на единицу продукции, выявляя точки нерационального использования [9, 10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышева А. Г., Зиновьева Н. П., Беззубов А. А. Методы контроля нафталина в воздухе // Гигиена и санитария. 2002. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-kontrolya-naftalina-v-vozduh> (дата обращения: 11.09.2025).
2. Кирсанов Ю. Г. Оценка воздействия выбросов вредных веществ на атмосферный воздух: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 110 с.
3. Васильконов Е. С., Завгородняя Ю. А., Демин В. В., Трофимов С. Я. Взаимодействие нафталина и нафтола с органической матрицей почвы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2008. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimodeystvie-naftalina-i-naftola-s-organicheskoy-matritsey-pochvy> (дата обращения: 12.09.2025).
4. Пат. 2061530 С1 Российская Федерация, МПК В01Д 53/04. Способ адсорбционно-конденсационной очистки газовых выбросов / В. А. Махлин, С. И. Иванов, Б. Н. Окунев [и др.]; заявитель и патентообладатель [не указан]. № 94008394/26; заявл. 10.03.1994; опубл. 10.06.1996. 7 с.
5. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2. Дата подписания 28.01.2021. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103050021> (дата обращения: 11.09.2025). Текст: электронный.
6. Зеленко В. Л., Хейфец Л. И. Выбор количества адсорберов для технологической схемы разделения газовых смесей // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. 2007. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-kolichestva-adsorberov-dlya-tehnologicheskoy-shemy-razdeleniya-gazovyh-smesey> (дата обращения: 11.09.2025).
7. Неверов Е. Н., Короткий И. А., Коротких П. С., Мокрушин М. Ю., Порохнов А. Н. Технические решения по вторичному использованию тепловой энергии и повышению экологической эффективности инженерных систем // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2022. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskie-resheniya-po-vtorichnomu-ispolzovaniyu-teplovoy-energii-i-povysheniyu-ekologicheskoy-effektivnosti-inzhenerykh-sistem> (дата обращения: 12.09.2025).
8. Жанабергенова Д. Р., Мещанинова Ю. О. Определение поглотительной способности наиболее известных адсорбентов // Молодой ученый. 2015. № 11. С. 492–497.
9. Кулакова Е. С., Сафарова В. И., Сафаров А. М. Система принятия решений по управлению качеством атмосферного воздуха промышленных центров // Вопросы современной науки и практики. 2025. № 3(97). С. 7–27.
10. Гупорова Н. В., Седяров О. И. Алгоритм расчета интегральной оценки степени загрязнения атмосферы организованными источниками выбросов промышленных предприятий // Вопросы современной науки и практики. 2020. № 1(75). С. 19–24.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.42.92.010

UDC 66.074.912

© K. V. Kuzmin, A. O. Sukhova, I. I. Makeev, 2026

K. V. KUZMIN

Student

Tambov State Technical University, Tambov

e-mail: kirya.kuzmin.2003@mail.ru

A. O. SUKHOVA

Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor of Department
Tambov State Technical University, Tambov
e-mail: apill@yandex.ru

I. I. MAKEEV

Student
Tambov State Technical University, Tambov
e-mail: ilya-makeev-2016@mail.ru

STUDY OF THE IMPACT OF NAPHTHALENE EMISSIONS FROM CHEMICAL ENTERPRISES IN THE TAMBOV REGION

The article is devoted to an urgent environmental issue: the study of naphthalene (C₁₀H₈) emissions from chemical enterprises in the Tambov Region in the context of the implementation of the national project «Environmental Well-Being» (2025–2030). The purpose of the work is to conduct a comprehensive analysis of the sources of pollution, quantify the emission volumes, and scientifically select the most effective method for purifying exhaust gases from naphthalene vapors, taking into account the current requirements of environmental legislation.

The study found that the dominant source of naphthalene emissions to the atmosphere is the dispersant workshop. A detailed analysis of the site's gross emissions, which total up to 1,663 tons per year, was conducted, and the proportion of naphthalene among the priority pollutants was determined. Special attention is paid to the multifactorial danger of this substance: naphthalene has pronounced toxicity and carcinogenic properties (Group 2B according to the IARC classification), is a persistent organic pollutant, and is capable of bioaccumulation in food chains and transboundary atmospheric transport, which highlights the urgent need for strict control measures and highly efficient technologies for deep purification of industrial emissions.

The authors conducted a comparative analysis of the known methods for capturing naphthalene vapors (absorption by organic solvents, adsorption on solid sorbents, condensation, thermal and catalytic oxidation). Based on a multi-factorial score assessment, the adsorption method was found to be the most advantageous, as it provides consistently high purification rates (up to 95–98%) at a moderate cost and is relatively easy to operate.

The article provides a detailed description of the proposed purification process based on a batch/continuous adsorption unit. It describes a schematic diagram that includes parallel adsorbers with granular activated carbon, a system of heat exchangers for heat recovery during desorption, a condenser-separator, and a vacuum pump. The article also presents an engineering calculation of the rate of naphthalene evaporation from an open surface (17,3 kg/h), which confirms the high efficiency of the proposed system. It has been proven that the implementation of this technology allows for a sustainable reduction in the concentration of naphthalene in emissions to regulatory values (less than 5 mg/m³ according to SanPiN 1.2.3685-21), the recovery of up to 95% of technical naphthalene, the utilization of secondary desorption heat, and the reuse of technical condensate in the production cycle. The integration of the installation with the SCADA automated control system provides continuous monitoring, prompt diagnostics, and optimization of energy consumption, which transforms environmental protection measures from a purely costly activity into a partially self-sustaining one and significantly improves the overall level of environmental safety in the Tambov region.

Keywords: SOURCE OF POLLUTION, EMISSION ASSESSMENT, NAPHTHALENE, ADSORBER, CONDENSER-SEPARATOR.

REFERENCES

1. Malysheva A. G., Zinovieva N. P., Bezzubov A. A. Methods of Control of Naphthalene in the Air // Hygiene and Sanitation. 2002. No. 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-kontrolya-naftalina-v-vozduh> (date of access: 11.09.2025). [In Russ.].
2. Kirsanov Yu. G. Assessment of the Impact of Harmful Emissions on Atmospheric Air: A Study Guide. Yekaterinburg: Ural University Press, 2018. 110 p. [In Russ.].
3. Vasilkonov E. S., Zavgorodnyaya Yu. A., Demin V. V., Trofimov S. Ya. Interaction of Naphthalene and Naphthol with the Organic Matrix of Soil // Bulletin of Moscow University. Series 17. Soil Science. 2008. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimodeystvie-naftalina-i-naftola-s-organicheskoy-matritsey-pochvy> (accessed: 12.09.2025). [In Russ.].
4. Patent 2061530 C1 Russian Federation, IPC B01D 53/04. Method of Adsorption-Condensation Purification of Gas Emissions / V. A. Makhlina, S. I. Ivanova, B. N. Okuneva [et al.]; applicant and patent holder [not specified]. No. 94008394/26; filed on March 10, 1994; published on June 10, 1996. — 7 p. [In Russ.].
5. On approval of sanitary rules and regulations SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of human habitat factors»: Resolution No. 2 of the Chief State Sanitary Inspector of the Russian Federation dated January 28, 2021. Date of signing: January 28, 2021. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103050021> (accessed on September 11, 2025). Text: electronic. [In Russ.].
6. Zelenko V. L., Kheifets L. I. Selection of the Number of Adsorbers for the Technological Scheme of Gas Mixture Separation // Bulletin of Moscow University. Series 2. Chemistry. 2007. No. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-kolichestva-adsorberov-dlya-tehnologicheskoy-shemy-razdeleniya-gazovyh-smesey> (accessed: 11.09.2025). [In Russ.].
7. Neverov E. N., Korotkiy I. A., Korotkikh P. S., Mokrushin M. Yu., Porokhnov A. N. Technical solutions for the secondary use of thermal energy and improving the environmental efficiency of engineering systems // Vestnik DGTU. Technical Sciences. 2022. No. 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnicheskie-resheniya-po-vtorichnomu-ispolzovaniyu-teplovoy-energii-i-povysheniyu-ekologicheskoy-effektivnosti-inzheneryh-sistem> (accessed: 12.09.2025). [In Russ.].
8. Zhanabergenova D. R., Meshchaninova Yu. O. Determination of the Absorption Capacity of the Most Well-Known Adsorbents // Young Scientist. 2015. No. 11. P. 492–497. [In Russ.].
9. Kulakova E. S., Safarova V. I., Safarov A. M. Decision-Making System for Managing the Air Quality of Industrial Centers // Issues of Modern Science and Practice. 2025. No. 3(97). P. 7–27. [In Russ.].
10. Gutorova N. V., Sedlyarov O. I. Algorithm for calculating the integral assessment of the degree of atmospheric pollution caused by organized sources of industrial emissions // Issues of Modern Science and Practice. 2020. No. 1(75). P. 19–24. [In Russ.].