

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.92.95.010

УДК 66.074.2

© О.В. Долгова, И.В. Хорохорина, А.О. Сухова, 2023

**О.В. ДОЛГОВА**

канд. техн. наук,  
старший преподаватель  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: o.v.dolgova@mail.ru



**И.В. ХОРОХОРИНА**

д-р техн. наук,  
доцент кафедры  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: kotelnikovirina@yandex.ru



**А.О. СУХОВА**

канд. техн. наук,  
доцент кафедры  
Тамбовский государственный технический университет,  
г. Тамбов  
e-mail: apil1@yandex.ru



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ ТЕПЛОВЗОВ

*Проведены исследования возможности использования для очистки газовых выбросов реостатных испытаний тепловозов пенного скруббера с применением в качестве химического поглотителя водного раствора аммиака. Экспериментальная отработка на промышленном пенном фильтре показала высокую степень извлечения токсичного компонента из выхлопных газов. Предложена технологическая схема очистки и определены параметры работы данной схемы.*

**Ключевые слова:** РЕОСТАТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ТЕПЛОВЗОВ, ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ, ОКСИДЫ АЗОТА, ПЕННЫЙ СКРУББЕР, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА.

Постоянное ужесточение законодательства в сфере охраны окружающей среды способствует тому, что предприятия внедряют газоочистное оборудование в те технологические процессы, где ранее возможно было выбрасывать загрязненные газы в атмосферу. Так, АО «РЖД» объявило конкурс на разработку системы очистки газовых выбросов от

оксидов азота, образующихся при реостатных испытаниях тепловозов.

Реостатные испытания тепловозов — обязательная технологическая операция, выполняемая для контроля и диагностики основных систем тепловозов, проводится в соответствии с руководством по эксплуатации тепловозов и длится 2 часа — контроль-

ные и 5 часов — полные реостатные испытания [1]. Обслуживание оборудования идет в стационарных условиях в депо железнодорожного транспорта, в специальных ангарах, где расположено диагностическое оборудование. Двигатель тепловоза при проведении реостатных испытаний непрерывно работает, и в атмосферу в течение всего рабочего дня через систему вентиляции выбрасываются продукты сгорания, что приводит к дополнительному загрязнению воздуха рабочей зоны токсичными веществами выхлопных газов горения дизельного топлива, в том числе и оксидами азота.

В табл. 1 представлены концентрации токсичных компонентов в отработанных газах дизельных двигателей [2] и значения предельно допустимых концентраций (ПДК) данных соединений в воздухе рабочей зоны [3].

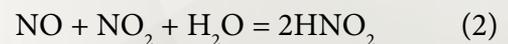
При реостатных испытаниях отходящие газы не подвергаются очистке, в отдельных железнодорожных депо в местах обслуживания тепловозов обеспечивается рассеивание продуктов сгорания на большую площадь за счет увеличения высоты трубы или применения эжектора, что приводит к уменьшению концентрации токсичных газов на локальной территории, но количество загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, не уменьшается.

Ориентировочная оценка показывает, что количество выхлопных газов, выделяющихся в окружающую среду при реостатных испытаниях при температуре газов на выходе из трубы около 100 °С, составляет 324 м<sup>3</sup>/ч (4,0 нм<sup>3</sup>/с), средний расход дизельного топлива тепловозом на холостом ходу — 10 кг/ч [4]. В продуктах сгорания концентрация оксидов азота достигает 8 мг/м<sup>3</sup>.

В промышленности для очистки газов от оксидов азота низкой концентрации широко применяются адсорбционные и абсорбционные методы. В качестве адсорбентов используются активные угли различных марок, которые относятся к дорогостоящим расходным материалам, требующим постоянной замены при исчерпании адсорбционной емкости с последующей отправкой на регене-

рацию или утилизацию. Абсорбционные методы осуществляются за счет улова оксидов азота в скрубберах в слой воды с использованием водного раствора химического реагента. Оксиды азота относятся к плохо растворимым в воде газам, растворимость NO при 20 °С составляет 0,05 дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>, поэтому для извлечения оксидов азота из газов необходимо применять химические реагенты, которые вступают в химическую реакцию с загрязнителями.

Оксиды азота на первом этапе, растворяясь в воде, реагируют с ней с образованием кислот:



На втором этапе азотная и азотистая кислоты реагируют с химическими веществами. При использовании в качестве поглотителей щелочей по окончании процесса абсорбции образуется отход — вода, загрязненная нитрит-нитрантными соединениями, утилизация которой требует дополнительных вложений.

При незначительной концентрации оксидов азота в выхлопных газах перспективным является использование аммиака в качестве поглотителя. После ввода в воду аммиак переходит в гидрат аммиака, который реагирует с оксидами азота с образованием нитрита аммония (3), являющимся нестойким соединением и разлагающимся до азота и воды (4). При этом реакция идет в газоаэрозольной фазе непосредственно с оксидами азота, не перешедшими в воду, что значительно увеличивает степень очистки вследствие низкой растворимости оксидов азота в воде.



Образовавшийся в результате реакции газообразный азот улетучивается в атмосферу, что позволяет многократно использовать орошающую жидкость без замены.

Таблица 1

Содержание токсичных компонентов в отработанных газах дизельных двигателей и их ПДК в воздухе рабочей зоны

Компонент продуктов сгорания	Концентрация, %	Концентрация при полной нагрузке, мг/м <sup>3</sup>	ПДК в воздухе рабочей зоны, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	1...12	40...240	27000 м.р.1 9000 с.с.2	4
Оксиды азота (NO <sub>x</sub> )	0,004...0,5	1...8	5,0 для NO 2,0 для NO <sub>2</sub>	3
Монооксид углерода (CO)	0,005...0,4	0,25...2	20,0	4
Бенз(а)пирен (C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> )	0,05·10 <sup>-7</sup> ...1,010 <sup>-7</sup>	2·10 <sup>-7</sup> ...5·10 <sup>-7</sup>	0,00015	1
Сажа (C)	0,01...1,1	0,05...0,5	4,0 с.с.	3
Оксиды серы (SO <sub>x</sub> )	0,002...0,02	1...1,5	10,0 для SO <sub>2</sub>	3
Формальдегид (HCHO)	0,0001...0,0019	–	0,5	2
Акролеин (CH <sub>2</sub> CHCHO)	0,0001...0,00013	0,001...0,04	0,2	2

<sup>1</sup>м.р. — максимальная разовая концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20–30 минут.

<sup>2</sup>с.с. — среднесуточная концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 часов.

Наибольшую степень извлечения оксидов азота обеспечивают следующие абсорберы, расположенные в порядке уменьшения степени извлечения: труба Вентури – пенные абсорберы – провальные тарельчатые скрубберы – насадочные скрубберы.

Трубы Вентури целесообразно применять для очистки больших объемов газов, они требуют использования высоконапорных газодувок. Насадочные колонны при общей простоте устройства характеризуются большим расходом орошающей жидкости для обеспечения полного смачивания насадки.

Пенные и провальные тарельчатые скрубберы схожи по устройству, при этом пенные газоочистители имеют наименьший расход орошающей жидкости и высокую поверхность контакта фаз. В пенных аппаратах газ, проходя через отверстия провальной тарелки, взаимодействует со слоем жидкости на поверхности тарелки с образованием пузырьков в виде пены, которая постоянно обновляется, разрушаясь каплями орошающей воды, поступающей из распределительного устройства в верхней части аппарата. Одновременно на тарелке образуется новая пена под действием газов, поступающих из нижней части скруббе-

ра. Внутри каждого пузырька пены происходит химическая реакция оксидов азота с аммиаком с образованием нитрита аммония.

Экспериментальное подтверждение работоспособности установки пенной очистки по улову оксидов азота, образующихся от горения при реостатных испытаниях тепловозов, выполнялось на промышленном пенном скруббере, представленном на рис. 1.



Рис. 1. Фотография промышленной установки пенной фильтрации газов

Для проведения испытаний был собран трубопровод, соединяющий установку с системой газгольдеров. На промышленную установку пенной фильтрации для определения степени извлечения направлялся газ, содержащий оксиды азота. Оксиды азота получали при горении жидких образцов, содержащих азот. Горючий растворитель (носитель) — изооктан.

В первой серии экспериментов в качестве орошающей жидкости использовалась вода без добавления реагентов. Во второй серии экспериментов использовался 1 % водный раствор аммиака.

Испытания проводили следующим образом.

Включали насос подачи орошающей жидкости на тарелку, затем вентилятор и зажигали горелку. В горелку предварительно заливалась смесь горючего и источника загрязняющего газа. Горелка устанавливалась таким образом, чтобы все продукты сгорания засасывались в вентилятор и подавались на очистку.

Отбор проб производился через 10 минут после выхода установки пенной очистки на стационарный режим работы.

На фотографиях (рис. 2) показано расположение горелки и работа установки при экспериментальном определении степени улова оксидов азота.



Рис. 2. Работа установки при экспериментальном определении улова оксидов азота

Пробы газа отбирали через штуцеры, аспиратора ПУ-4Э. Результаты эксперимента расположенные на газопроводах, до и после установки очистки с помощью электро-

Таблица 2

Результаты извлечения из продуктов сгорания оксидов азота на установке пенной фильтрации

Орошающая жидкость	До очистки, мг/м <sup>3</sup>	После очистки, мг/м <sup>3</sup>	ПДК возд. раб. зоны, мг/м <sup>3</sup>	Степень очистки, %
Вода	10	1,8	2,0	82
Водный раствор аммиака	10	0,6	2,0	94

Степень извлечения оксидов азота, экспериментально определенная на пенном скруббере с использованием воды в качестве поглотителя, составила 82 %, для однопроцентного раствора аммиака — 94 %.

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод, что пенная фильтрация обеспечивает высокую степень очистки от оксидов азо-

та — 94 %, что характеризует необходимость выбора типа и основных параметров работы газоочистного оборудования из числа систем пенной фильтрации.

Схема очистки выхлопных газов теплового от оксидов азота при реостатных испытаниях с использованием пенной абсорбции представлена на рис. 3.

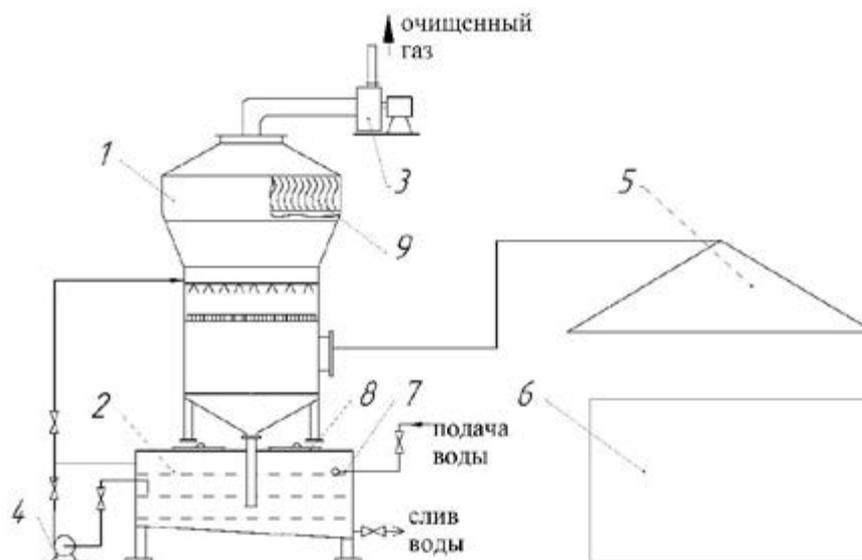


Рис. 3. Схема очистки выхлопных газов теплового от оксидов азота при реостатных испытаниях: 1 — пенный абсорбер, 2 — бак, 3 — вентилятор, 4 — насос, 5 — вытяжная вентиляция, 6 — место проведения реостатных испытаний, 7 — регулятор уровня воды, 8 — люк для ввода реагентов, 9 — каплеуловитель

Установка работает следующим образом. Выхлопные газы после реостатных испытаний тепловозов 6 по системе вентиляции 5 подаются на всас пенного скруббера 1 и, проходя через отверстия провальной тарелки, образуют пену, в объеме пузырьков которой происходит взаимодействие аммония с окси-

дами азота. Очищенный газ направляется на каплеуловитель 9, где освобождается от захваченных капель жидкости, которые стекают вниз колонны на тарелку. Перемещение газов по системе очистки обеспечивает вентилятор 3. Жидкость подается насосом 4 из бака 2 в абсорбер через распределительное

устройство и, пройдя через отверстия тарелки, возвращается в бак по трубе — гидрозатвору. Бак заполняется водой из водопроводной сети, аммиак в количестве, необходимом для получения однопроцентного раствора, подается через люк 8. Установка снабжена регулятором уровня 8.

На тарелке абсорбера в слое пены происходит химическая реакция аммония и оксидов азота, выделяющийся при этом азот — не токсичный газ выбрасывается в атмосферу. Расходование аммиака незначительно, около 1 г/ч при концентрации оксидов азота в очищаемом газе 8 мг/м<sup>3</sup>. Вводить аммоний в бак следует в начале смены в количестве из расчета его полного расходования на конец рабочего дня.

На пенном скруббере, помимо оксидов азота, будут улавливаться и другие токсичные вещества, содержащиеся в продук-

тах сгорания дизельного топлива, а именно: оксиды серы, формальдегид, сажа. Поэтому воду в баке следует менять, хотя она и не загрязняется продуктами реакции аммония и оксидов азота, при этом следует ориентироваться на степень загрязнения оборотной воды сажей.

Внедрение предложенной технологии очистки продуктов сгорания дизельного топлива от оксидов азота при реостатных испытаниях тепловозов позволит уменьшить загрязнение рабочей зоны токсичными газами, что приведет к улучшению условий работы персонала и уменьшит загрязнение территории предприятия. Установка пенной очистки проста в эксплуатации и не требует применения дорогостоящих реактивов и оборудования, что позволяет без значительных затрат эксплуатировать данное оборудование в депо железнодорожного транспорта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 2139.00.00.000 РЭ. Тепловозы типа 2ТЭ10М. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. М., 1985. 421 с.
2. ГОСТ Р 50953-2008. Выбросы вредных веществ и дымность отработавших газов магистральных и маневровых тепловозов. Нормы и методы определения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200065033> (дата обращения: 03.01.23).
3. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560Ю> (дата обращения: 06.01.23).
4. Щуров Н.И., Гурова Е.Г., Макаров С.В., Стрельникова Д.М. Анализ режимов работы силовых установок маневровых тепловозов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 3. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/issue/view?id=117> (дата обращения: 09.03.23).

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.92.95.010

UDC 66.074.2

© O.V. Dolgova, I.V. Khorokhorina, A.O. Sukhova, 2023

**O.V. DOLGOVA**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Lecturer  
Tambov State Technical University,  
Tambov  
e-mail: o.v.dolgova@mail.ru

**I.V. KHOROKHORINA**

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

**A.O. SUKHOVA**

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

**ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY DURING RHEOSTAT TESTS OF DIESEL LOCOMOTIVES**

*Studies were carried out on the possibility of using a foam scrubber for cleaning gas emissions of rheostat tests of diesel locomotives using aqueous ammonia solution as a chemical scavenger. Experimental development on an industrial foam filter showed a high degree of extraction of a toxic component from exhaust gases. The process scheme of purification is proposed and the parameters of operation of this scheme are determined.*

Keywords: RHEOSTAT TESTS OF DIESEL LOCOMOTIVES, CLEANING OF GAS EMISSIONS, NITROGEN OXIDES, FOAM SCRUBBER, PROCESS FLOW DIAGRAM.

**REFERENCES**

1. 2139.00.00.000 RE. Diesel locomotives of type 2TE10M. Operation and maintenance manual. M., 1985. 421 p.
2. GOST R 50953-2008. Emissions of harmful substances and smokiness of exhaust gases of mainline and shunting locomotives. Norms and methods of definition. [Electronic resource]. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/1200065033> (date of application: 03.01.23).
3. SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans [Electronic resource]. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?marker=6560IO> (date of application: 06.01.23).
4. Shchurov N.I., Gurova E.G., Makarov S.V., Strelnikova D.M. Analysis of operating modes of shunting diesel locomotives power plants // Modern problems of science and education [Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya]. 2014. No. 3. Access mode: <https://science-education.ru/ru/issue/view?id=117> (date of application: 09.03.22).