



С. И. ФОНОВА
А. В. ЭПИТАШВИЛИ
Е. Э. БУРАК

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗООЧИСТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

STUDY OF THE OPERATION OF THE GAS CLEANING INSTALLATION FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

Для оценки качества окружающей среды на территории предприятия чёрной металлургии в течение шести лет велось наблюдение за работой ёмкостей по переработке маслосодержащих отходов с последующей очисткой от ароматических углеводородов и аэрозолей минеральных масел. Выполнялся отбор проб воздуха (газа) для исследования количества загрязняющих веществ. В исследуемых образцах были обнаружены увеличенные концентрации бензола, ксилола, толуола, этилбензола, масла минерального. Были выполнены замеры производительности по газу на входе и выходе газоочистительной установки. Измерялась температура очищаемого газа, а также расход воды (раствора) на орошение. Период исследования – 2015–2020 гг. В результате анализа полученных данных было обнаружено непрерывное попадание загрязняющих веществ в атмосферу. Для уменьшения концентрации загрязнителей воздуха предложены мероприятия, направленные на увеличение эффективности газоочистительной установки.

Ключевые слова: окружающая среда, газоочистка, загрязняющие вещества, чёрная металлургия

To assess the quality of the environment on the territory of the ferrous metallurgy enterprise, the operation of oil-containing waste processing tanks was monitored for six years, followed by purification from aromatic hydrocarbons and mineral oil aerosols. Air (gas) sampling was carried out to study the amount of pollutants. In the studied samples, increased concentrations of benzene, xylene, toluene, ethylbenzene, mineral oil were found. Measurements of gas performance at the inlet and outlet of the gas cleaning plant were also performed. The temperature of the purified gas was measured; the consumption of water (solution) for irrigation was measured. The study period is from 2015 to 2020. As a result of the analysis of the data obtained, a continuous release of pollutants into the atmosphere was found. To reduce the concentration of air pollutants, measures have been proposed to increase the efficiency of the gas cleaning plant.

Keywords: environment, gas treatment, pollutants, ferrous metallurgy

Атмосферные загрязнения приводят к ряду негативных последствий, которые становятся сложно решаемой экологической проблемой [1–3]. В результате деятельности предприятий чёрной металлургии значительно загрязняется атмосферный воздух. Основной причиной выбросов загрязняющих веществ является высокий физический износ оборудования и применение устаревших технологий [4–6].

Цель работы: исследование работы газоочистительной установки, анализ экологиче-

ской обстановки на территории предприятия чёрной металлургии.

Задача: отбор проб воздуха, прошедших очистку на газоочистительной установке; анализ полученных результатов; разработка мероприятий по увеличению эффективности работы газоочистительной установки.

Как известно, предприятия чёрной металлургии имеют первый класс опасности и увеличенные защитно-санитарные зоны для их территорий [7]. Это связано с повышенным

содержанием загрязняющих веществ в испарениях от производства. Для защиты окружающей среды от попадания большого количества загрязняющих веществ на предприятии чёрной металлургии предусмотрено газоочистительное оборудование – газоконвектор.

Газоконвектор обеспечивает очистку вентиляционных и технологических выбросов от опасных и дурно пахнущих газов органической природы с общей концентрацией до 4000 мг/м³ путем полного их разложения и окисления. Окисление происходит в результате комбинированного воздействия объёмного барьерного разряда, воздействия на молекулы загрязнений и других физико-химических факторов.

Газоконвектор состоит из следующих элементов:

1. Блок МГФО – модуль «гидрофильтр» представляет собой смачиваемый лабиринт и обеспечивает водяное охлаждение потока с улавливанием масел, аэрозолей, пыли, смачивающихся и растворяющихся загрязнений.

2. Блок МОФ – модуль фреонового охлаждения газовой смеси, предназначенный для конденсации влаги в газовой смеси и охлаждения потока воздуха.

3. Блок ДУК – дымоулавливающий электростатический комплекс, обеспечивающий очистку воздуха от мелкодисперсных непро-

водящих частиц пыли и аэрозолей, а также от полимеризующихся и застывающих загрязнений.

4. Блок ФПА – противоаэрозольный фильтр, представляющий собой кассетный фильтр и обеспечивающий дополнительную защиту газоконвектора от аэрозолей, полимеризующихся и застывающих загрязнений, пыли и волокон.

5. Блок Фк7 – фильтр карманного типа с кассетными блоками, обеспечивающий тонкую очистку воздуха от пыли и волокон.

6. Блок ГРЯ 2000 (2 шт.) – барьерно-стримерная секция плазменной очистки с газоразрядными ячейками, обеспечивающая очистку воздуха от органических газов, паров и запахов.

7. Блок СЕ/СЕС (3 шт.) – кассетный сорбционный фильтр, предназначенный для доочистки воздуха от газов, паров и запахов.

В течение шести лет (с 2015 по 2020 гг.) с периодичностью один раз в год выполнялся отбор проб воздуха для исследования. Сбор анализов осуществлялся после очистки воздуха от ароматических углеводородов и аэрозолей минеральных масел в испарениях.

В 2015 г. отбор проб был выполнен в августе, в 2016 г. – в сентябре, а с 2017 по 2020 гг. – в мае. Работа цеха (рис. 1) по переработке маслосодержащих отходов с последующей очисткой от ароматических углеводородов



Рис. 1. Цех по переработке маслосодержащих отходов

и аэрозолей минеральных масел происходит в круглосуточном режиме. Наблюдения показали, что после очистки отходов в атмосферу вместе с парами очищенного воздуха попадают загрязняющие вещества, о чём свидетельствует специфический запах воздуха рядом с объектом наблюдения.

Основными загрязняющими веществами в испарениях являются: бензол [8, 9], ксилол [10], толуол [11], этиленбензол [12], масло минеральное [13]. Повышенное содержание данных веществ в атмосферном воздухе влияет на уровень загрязнения поверхностных и подземных вод, а также почв.

Основной характеристикой загрязнённости воздуха является концентрация в нем примеси, т. е. количество того или иного вещества в единице объема воздуха при нормальных условиях, выраженное в мг/м³.

Для измерения компонентов использовалось оборудование Центра коллективного пользования ВГТУ «ЦКП имени проф. Ю.М. Борисова» в рамках проекта развития, на основании соглашения № 075-15-2021-662 от 28.07.2021 г. В работе использовались газоанализаторы, датчики давления и термопреобразователи.

Результаты измерений представлены в табл. 1.

На основании полученных данных, обобщенных в табл. 1, были построены графики изменения концентрации загрязняющих веществ на входе в газоконвектор газов и на выходе (рис. 2–6).

На рис. 2 показан график измерения концентрации **бензола**. *Первый* отбор проб был выполнен 31 мая 2015 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 73 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 4,5 м³/ч. Концентрация бензола до очистки составляла 0,002813 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации бензола в воздухе до 0,00127 г/м³, однако полученные результаты при сопоставлении к ПДК оказались завышены. Результаты исследования проб газа (воздуха) и сопоставления к ПДК представлены в табл. 2. По результатам исследований в 2015 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей бензола – 54,85 %. *Второй* отбор проб был выполнен 29 сентября 2016 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 48 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация бензола до очистки составляла 0,000117 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации бензола в воздухе до 0,000065 г/м³. По результатам исследований в 2016 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей бензола – 44,44 %.

Третий отбор проб был выполнен 23 мая 2017 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 56 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация бензола до очистки составляла 0,000047 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации бензола в воздухе до 0,000002 г/м³. По результатам исследований в 2017 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей бензола – 95,74 %. *Четвертый* отбор проб был выполнен 11 мая 2018 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 52 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация бензола до очистки составляла 0,000153 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации бензола в воздухе до 0,00005 г/м³. По результатам исследований в 2018 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей бензола – 67,32 %. *Пятый* отбор проб был выполнен 5 мая 2019 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 101 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация бензола до очистки составляла 0,00049 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации бензола в воздухе до 0,000053 г/м³. По результатам исследований в 2019 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей бензола, равный 89,18 %. *Шестой* отбор проб был выполнен 7 мая 2020 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 54 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация бензола до очистки составляла 0,00048 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации бензола в воздухе до 0,000052 г/м³. По результатам исследований в 2020 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей бензола – 89,16 %.

На рис. 3 показан график измерения концентрации **ксилола**. *Первый* отбор проб был выполнен 31 мая 2015 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 73 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 4,5 м³/ч. Концентрация ксилола до очистки составляла 0,000005 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации ксилола в воздухе до 0,000002 г/м³. Результаты исследования проб газа (воздуха) и сопоставления к ПДК представлены в табл. 2. По результатам исследований в 2015 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей ксилола – 60,00 %. *Второй* отбор проб был выполнен 29 сентября 2016 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 48 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация ксилола до очистки составляла

Таблица 1

Результаты исследований по эксплуатационным (фактическим) показателям работы установки очистки газа ёмкости термообработки на промышленном предприятии черной металлургии

Исследуемые параметры	Показатели работы (фактические)					
	31.08. 2015	29.09. 2016	23.05. 2017	11.05. 2018	08.05. 2019	07.05. 2020
1. Температура очищаемого газа (воздуха), °С:						
на входе	73	100	100	100	101	100
на выходе	53	48	56	52	53	54
2. Концентрация загрязняющих веществ в очищаемом газе (воздухе), мг/м³:						
на входе:						
– бензол	0,002813	0,000117	0,000047	0,000153	0,00049	0,00048
– ксилол	0,000005	0,000223	0,000055	0,00018	0,00022	0,00199
– толуол	0,000036	0,000225	0,000036	0,000053	0,00034	0,00031
– этилбензол	0,000018	0,000003	0,000006	0,000573	0,00038	0,00035
– минеральное масло	0,007	0,0103	0,0121	0,0099	0,009533	0,009033
на выходе:						
– бензол	0,00127	0,000065	0,000002	0,00005	0,000053	0,000052
– ксилол	0,000002	0,000092	0,000029	0,000056	0,000068	0,000065
– толуол	0,000014	0,000106	0,000014	0,00002	0,000051	0,00005
– этилбензол	0,000008	0,0000001	0,000003	0,00014	0,000106	0,000103
– минеральное масло	0,00295	0,00367	0,00433	0,00415	0,0041	0,003897
3. Расход воды (раствора) на орошение, м³/ч	4,5	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Эффективность очищения загрязняющих веществ, %:						
– бензол	54,85	44,44	95,74	67,32	89,18	89,16
– ксилол	60,00	58,74	47,27	68,88	69,09	96,73
– толуол	61,11	52,88	61,11	62,26	85,00	83,87
– этилбензол	55,55	96,66	50,00	75,56	72,10	70,57
– минеральное масло	57,85	96,43	64,21	58,08	56,99	56,85

Таблица 2

Результаты исследования проб воздуха и сопоставление к ПДК

Показатель	2015 вход/ выход	2016 вход/ выход	2017 вход/ выход	2018 вход/ выход	2019 вход/ выход	2020 вход/ выход	ПДК [14] воздуха макс. разовая	ПДК [14] воздуха средне- суточная
Температура воздуха, °С	73	100	100	100	101	100	-	-
	53	48	56	52	53	54		
Бензол, мг/м³	2,813	0,117	0,047	0,153	0,490	0,480	0,300	0,100
	1,270	0,065	0,002	0,050	0,053	0,052		
Ксилол, мг/м³	0,005	0,223	0,055	0,180	0,220	0,199	150	50
	0,002	0,092	0,029	0,056	0,068	0,065		
Толуол, мг/м³	0,036	0,225	0,036	0,053	0,340	0,310	150	50
	0,014	0,106	0,014	0,020	0,051	0,050		
Этилбензол, мг/м³	0,018	0,003	0,006	0,573	0,380	0,350	150	50
	0,080	0,0001	0,003	0,140	0,106	0,103		
Масло минеральное, мг/м³	7,000	10,300	12,100	9,900	9,530	9,033	-	5,000
	2,95	3,67	4,33	4,15	4,100	3,897		

0,000223 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации ксилола в воздухе до 0,000092 г/м³. По результатам исследований в 2016 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей ксилола – 58,74 %. Третий отбор проб был выполнен 23 мая 2017 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 56 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация ксилола до очистки составляла 0,000055 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации ксилола в воздухе до 0,000029 г/м³. По результатам исследований в 2017 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей ксилола – 47,27 %. Четвертый отбор проб был выполнен 11 мая 2018 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 52 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация ксилола до очистки составляла 0,00018 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации ксилола в воздухе до 0,000056 г/м³. По результатам исследований в 2018 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей ксилола – 68,88 %. Пятый отбор проб был выполнен 5 мая 2019 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 101 °С, после очистки показатель температуры – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация ксилола до очистки составляла 0,00022 г/м³, после наблюдалось снижение кон-

центрации ксилола в воздухе до 0,000068 г/м³. По результатам исследований в 2019 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей ксилола, равный 69,09 %. Шестой отбор проб был выполнен 7 мая 2020 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 54 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация ксилола до очистки составляла 0,00199 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации ксилола в воздухе до 0,000065 г/м³. По результатам исследований в 2020 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей ксилола – 96,73 %.

На рис. 4 показан график измерения концентрации толуола. Первый отбор проб был выполнен 31 мая 2015 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 73 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 4,5 м³/ч. Концентрация толуола до очистки составляла 0,000036 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации толуола в воздухе до 0,000014 г/м³. Результаты исследования проб газа (воздуха) и сопоставления к ПДК представлены в табл. 2. По результатам исследований в 2015 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей толуола – 61,11 %. Второй отбор проб был выполнен 29 сентября 2016 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 48 °С. Расход воды на орошение внутри установки соста-

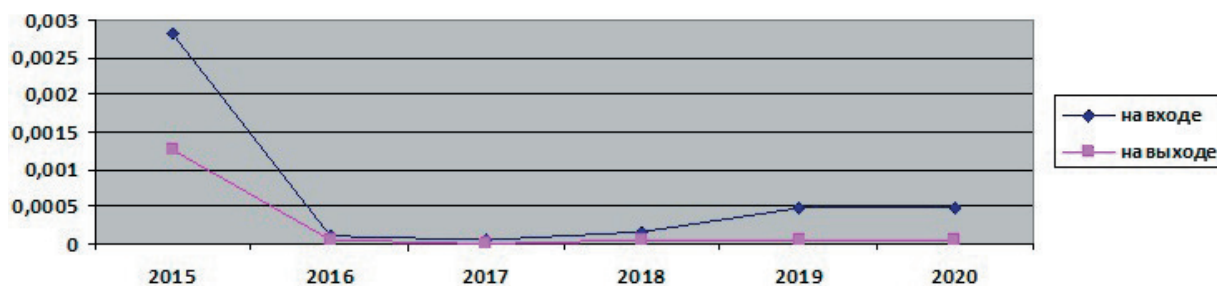


Рис. 2. График измерения концентрации бензола, г/м³, за период 2015–2020 гг.

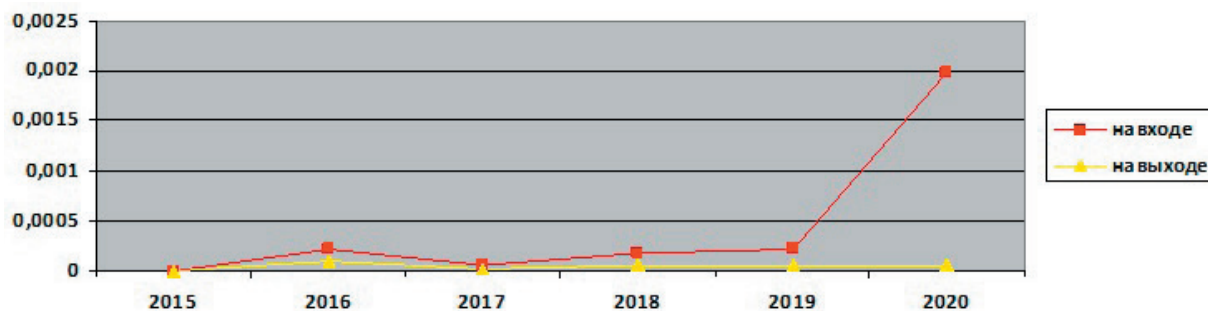


Рис. 3. График измерения концентрации ксилола, г/м³, за период 2015–2020 гг.

вил $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация толуола до очистки составляла $0,000225 \text{ г}/\text{м}^3$, после наблюдалось снижение концентрации толуола в воздухе до $0,000106 \text{ г}/\text{м}^3$. По результатам исследований в 2016 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей толуола, равный 52,88 %. *Третий* отбор проб был выполнен 23 мая 2017 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100°C , после очистки – 56°C . Расход воды на орошение внутри установки составил $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация толуола до очистки составляла $0,000036 \text{ г}/\text{м}^3$, после наблюдалось снижение концентрации толуола в воздухе до $0,000014 \text{ г}/\text{м}^3$. По результатам исследований в 2017 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей толуола – 61,11 %. *Четвертый* отбор проб был выполнен 11 мая 2018 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100°C , после очистки – 52°C . Расход воды на орошение внутри установки составил $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация толуола до очистки составляла $0,000053 \text{ г}/\text{м}^3$, после наблюдалось снижение концентрации толуола в воздухе до $0,00002 \text{ г}/\text{м}^3$. По результатам исследований в 2018 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей толуола – 62,26 %. *Пятый* отбор проб был выполнен 5 мая 2019 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 101°C , после очистки показатель температуры – 53°C . Расход воды на орошение внутри установки составил $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация толуола до очистки составляла

$0,00034 \text{ г}/\text{м}^3$, после наблюдалось снижение концентрации толуола в воздухе до $0,000051 \text{ г}/\text{м}^3$. По результатам исследований в 2019 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей толуола – 85,0 %. *Шестой* отбор проб был выполнен 7 мая 2020 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100°C , после очистки – 54°C . Расход воды на орошение внутри установки составил $8,0 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация толуола до очистки составляла $0,00031 \text{ г}/\text{м}^3$, после наблюдалось снижение концентрации толуола в воздухе до $0,00005 \text{ г}/\text{м}^3$. По результатам исследований в 2020 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей толуола – 83,87 %.

На рис. 5 показан график измерения концентрации этиленбензола. *Первый* отбор проб был выполнен 31 мая 2015 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 73°C , после очистки – 53°C . Расход воды на орошение внутри установки составил $4,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Концентрация этиленбензола до очистки составляла $0,000018 \text{ г}/\text{м}^3$, после наблюдалось снижение концентрации этиленбензола в воздухе до $0,000008 \text{ г}/\text{м}^3$. Результаты исследования проб газа (воздуха) и сопоставления к ПДК представлены в табл. 2. По результатам исследований в 2015 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей этиленбензола – 55,55 %. *Второй* отбор проб был выполнен 29 сентября 2016 г. Температура газа на входе в аппарат составляла

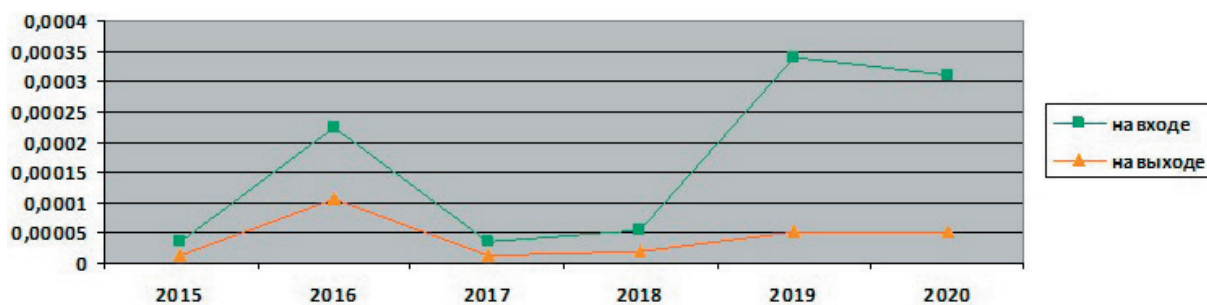


Рис. 4. График измерения концентрации толуола, $\text{г}/\text{м}^3$, за период 2015–2020 гг.

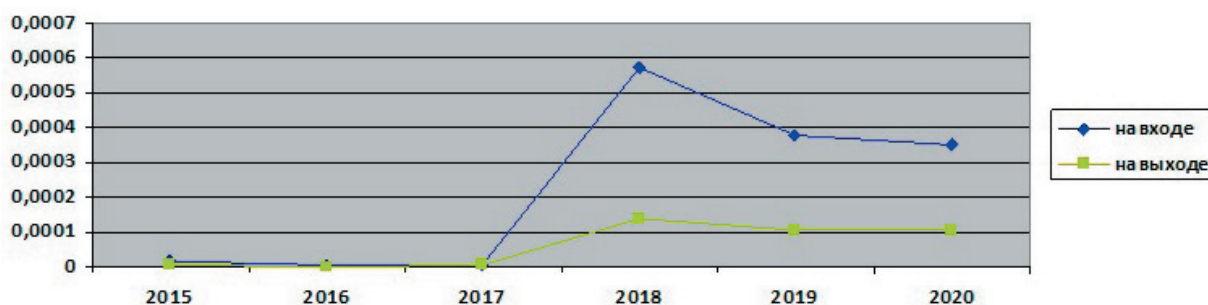


Рис. 5. График измерения концентрации этиленбензола, $\text{г}/\text{м}^3$, за период 2015–2020 гг.

100 °С, после очистки – 48 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация этиленбензола до очистки составляла 0,000003 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации этиленбензола в воздухе до 0,0000001 г/м³. По результатам исследований в 2016 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей этиленбензола – 96,66 %. *Третий* отбор проб был выполнен 23 мая 2017 г. Температура газа на входе в аппарат – 100 °С, после очистки – 56 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация этиленбензола до очистки составляла 0,000006 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации этиленбензола в воздухе до 0,000003 г/м³. По результатам исследований в 2017 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей этиленбензола – 50,0 %. *Четвертый* отбор проб был выполнен 11 мая 2018 г. Температура газа на входе в аппарат – 100 °С, после очистки – 52 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация этиленбензола до очистки составляла 0,000573 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации этиленбензола в воздухе до 0,00014 г/м³. По результатам исследований в 2018 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей этиленбензола – 75,56 %. *Пятый* отбор проб был выполнен 5 мая 2019 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 101 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация этиленбензола до очистки составляла 0,00038 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации этиленбензола в воздухе до 0,000106 г/м³. По результатам исследований в 2019 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей этиленбензола – 72,10 %. *Шестой* отбор проб был выполнен 7 мая 2020 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 54 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация этиленбензола до очистки составляла 0,00035 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации этиленбензола в воздухе до 0,000103 г/м³. По результатам исследований в 2020 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей этиленбензола – 70,57 %.

На рис. 6 показан график измерения концентрации минерального масла. *Первый* отбор проб был выполнен 31 мая 2015 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 73 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 4,5 м³/ч. Концентрация масла минерального до очистки составляла 0,007 г/м³, после наблюдалось снижение

концентрации минерального масла в воздухе до 0,00295 г/м³. Результаты исследования проб газа (воздуха) и сопоставления к ПДК представлены в табл. 2. По результатам наблюдений в 2015 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей масла минерального – 57,85 %. *Второй* отбор проб был выполнен 29 сентября 2016 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 48 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация масла минерального до очистки составляла 0,0103 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации минерального масла в воздухе до 0,00367 г/м³. По результатам наблюдений в 2016 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей масла минерального – 96,43 %. *Третий* отбор проб был выполнен 23 мая 2017 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 56 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация масла минерального до очистки составляла 0,0121 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации масла минерального в воздухе до 0,00433 г/м³. По результатам наблюдений в 2017 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей масла минерального – 64,21 %. *Четвертый* отбор проб был выполнен 11 мая 2018 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 52 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация масла минерального до очистки составляла 0,0099 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации масла минерального в воздухе до 0,00415 г/м³. По результатам наблюдений в 2018 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей масла минерального – 58,08 %. *Пятый* отбор проб был выполнен 5 мая 2019 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 101 °С, после очистки – 53 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация масла минерального до очистки составляла 0,009533 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации масла минерального в воздухе до 0,0041 г/м³. По результатам наблюдений в 2019 г. был получен показатель эффективности по очистке газа от примесей масла минерального – 56,99 %. *Шестой* отбор проб был выполнен 7 мая 2020 г. Температура газа на входе в аппарат составляла 100 °С, после очистки – 54 °С. Расход воды на орошение внутри установки составил 8,0 м³/ч. Концентрация масла минерального до очистки составляла 0,009033 г/м³, после наблюдалось снижение концентрации масла минерального в воздухе до 0,003897 г/м³. По результатам наблюдений в 2020 г. был полу-

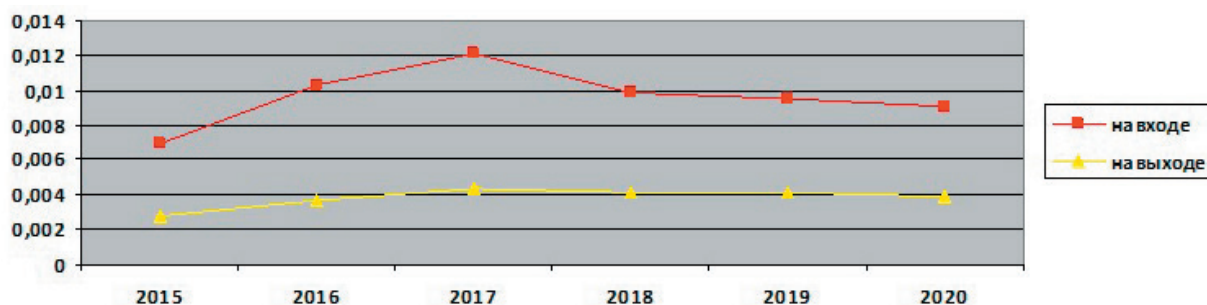


Рис. 6. График измерения концентрации масла минерального, г/м³, за период 2015–2020 гг.

чен показатель эффективности по очистке газа от примесей масла минерального – 56,58 %.

Результаты исследования проб газа (воздуха) и сопоставления к ПДК представлены в табл. 2. Анализируя полученные данные, мы видим, что концентрация бензола в 2015 г. превышает нормы ПДК перед очисткой газовой смеси и после неё. В 2016, 2018, 2019, 2020 гг. ПДК по бензолу превышено только перед очисткой газовой смеси, после её очистки по ПДК установлена норма. Анализ результатов по концентрации масла минерального в испарениях показывает, что в течение всего периода наблюдения ПДК перед очисткой газовой смеси превышает норму, после очистки содержание масла минерального в испарениях соответствует нормам ПДК. По показателям – ксилол, толуол, этилбензол – не выявлено превышений ПДК.

После очистки газовой смеси её конечный продукт попадает в атмосферу.

По результатам полученных данных о температуре газовой смеси при поступлении её на очистку и после установлено, что в процессе очистки воздуха температура газа снижается в два раза. Снижение температуры относительно исходных показателей представлено на рис. 7. Однако несмотря на значительное уменьшение температуры после очистки, наблюдается увеличение температуры атмосферного воздуха выше естественного уровня, что является тепловым загрязнением окружа-

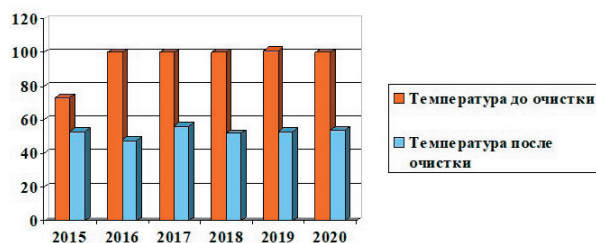


Рис. 7. Диаграмма температуры (°C) очищаемого газа (воздуха) за период 2015–2020 гг.

ющей среды. Выброс в атмосферу происходит на высоте менее трех метров, что препятствует рассеиванию загрязняющих веществ и является опасным для человека.

Выводы. 1. Анализ полученных результатов показал, что степень очистки газовой смеси от аэрозолей масла и от ароматических углеводородов после газоочистного оборудования составляет менее 95 % (бензол 73,44 %, ксилол 66,70 %, толуол 67,70 %, этилбензол 67,07 %, масло минеральное 65,06 %). На основании полученных данных можно видеть, что оборудование по очистке газа (воздуха) работает неэффективно и требует модернизации или полной замены.

2. Газы (воздух) после очистки попадают в атмосферу горячими, их средняя годовая температура составляет 52,66 °C, в связи с чем происходит тепловое загрязнение окружающей среды.

3. Наблюдается резкий неприятный запах не только в помещениях цеха, но и на дворовых производственных территориях, что свидетельствует о загрязнении окружающей среды вредными токсичными веществами, оказывающими вредоносное воздействие на окружающую среду и человека.

4. Для увеличения эффективности очистки газовой смеси предлагается следующее:

- выполнить замену газоочистительного оборудования на новое;
- очистку газовой смеси осуществлять с помощью двух линий (рабочей и резервной);
- для создания необходимого разрежения и обеспечения соответствующей работы газоочистной установки предусмотреть установку двух высоконапорных радиальных вентиляторов;
- для компенсации удаляемого воздуха и обеспечения отсутствия вакуума и избыточного давления в емкостях, на крышках, предусмотреть установку приточных вентиляционных патрубков, с устройством межфланцевых дисковых затворов на емкостях, расположен-

ных внутри помещений, и устройством вентиляционных патрубков на резервуарах, установленных на улице;

– для обеспечения неконтролируемых выбросов газовой смеси из емкостей заделывать открытые проемы;

– для защиты системы аспирации от шума и вибраций предусмотреть установку виброподставок и виброопор;

– выброс очищенной газовой смеси осуществлять с помощью дымовой трубы высотой 14,0 м, что обеспечит рассеивание остаточных концентраций загрязняющих веществ до уровня допустимого содержания в воздухе окружающей среды;

– для обеспечения температуры на поверхности внутренних воздуховодов не более 40 °С предусмотреть их теплоизоляцию рулонным изолирующим материалом из вспененного каучука толщиной 25 мм с покрытием на основе алюминизированной фольги;

– для предотвращения дополнительной конденсации влаги в наружных воздуховодах предусмотреть их теплоизоляцию рулонным изолирующим материалом из вспененного каучука толщиной 32 мм с покрытием тонколистовой оцинкованной сталью толщиной 0,5 мм;

– проводить мониторинг испарений на концентрацию загрязняющих веществ не реже одного раза в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилова Т.Я. Обзор современных зарубежных концепций экологизации среды жизнедеятельности // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 113–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15.

2. Гвоздовский В.И., Князева М.Н., Сизова А.И. Экологические проблемы крупного города, средства и методы их решения // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 63–67. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.11.

3. Закирова М.Н., Чуприна Е.В. Обеспечение экологической безопасности в условиях загрязнения городской среды кадмием // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С. 59–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.11.

4. Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. Модернизация аппаратов очистки воздуха от твердых высокодисперсных аэрозолей // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2. С. 16–21. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.3.

5. Поспелова Н.Э., Тимирбулатова Э.Х. Некоторые особенности технологических процессов и уровня загрязнения атмосферы, создаваемые источниками выбросов предприятий стройиндустрии // Градостроительство и архитектура. 2014. Т.4, №3. С. 84–88. DOI:10.17673/Vestnik.2014.03.15.

6. Коткова О.Н. Учет нарушений высотных сооружений на опасных производственных объектах Самарской области // Градостроительство и архитектура. 2011. Т.1, №4. С. 72–76. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.04.14.

7. Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ (ред. от 04.11.2022) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Приложение 1 «Опасные производственные объекты».

8. Большая советская энциклопедия Бензол: в 30 т./ гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

9. Омельяненко Л.М., Сенкевич Н.А. Клиника и профилактика отравлений бензолом. М.: 1957.

10. Роспотребнадзор. № 742. Диметилбензол (смесь 2-, 3-, 4-изомеров) (ксилол смесь изомеров) // ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». М., 2018. 170 с. (Санитарные правила).

11. Роспотребнадзор № 1284. Метилбензол (толуол) // ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны». М., 2018. 170 с. (Санитарные правила).

12. Карманный справочник NIOSH по химическим опасностям [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0264.html> (дата обращения: 15.03.2023).

13. Большая Советская энциклопедия Масла нефтяные: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М.: Советская Энциклопедия, 1974. Т. XV. 632 с.

14. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 04.02.2008 № 6 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.2326-08» (вместе с «ГН 2.1.6.2326-08. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Дополнение 4 к ГН 2.1.6.1338-03. Гигиенические нормативы») (Зарегистрировано в Минюсте РФ 29.02.2008 № 112).

REFERENCES

1. Vavilova T.Ya. Review of Modern Foreign Concepts of Environmentalization of the Living Environment. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 113–125. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15

2. Gvozдовsky V.I., Knyazeva M.N., Sizova A.I. Environmental problems of a large city, tools and methods for solving them. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2017, vol. 7, no. 3, pp. 63–67. (un Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.11

3. Zakirova M.N., Chuprina E.V. Ensuring environmental safety in the conditions of urban pollution with cadmium. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 59–62. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.11

4. Puring S.M., Vatuzov D.N. Modernization of Air Purification Devices from Solid Fine Aerosols. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and

Architecture], 2020, vol. 10, no. 2, pp. 16–21. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.3

5. Pospelova N.E., Timirbulatova E.Kh. Some features of technological processes and the level of air pollution created by sources of emissions of construction industry enterprises. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2014, vol. 4, no. 3, pp. 84–88. (in Russian) DOI:10.17673/Vestnik.2014.03.15

6. Kotkova O.N. Accounting for Violations of High-Rise Structures at Hazardous Industrial Facilities of the Samara Region. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2011, vol. 1, no. 4, pp. 72–76. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2011.04.14

7. *Federal'nyj zakon ot 21.07.1997 № 116-FZ (red. ot 04.11.2022) «O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh ob#ektov». Prilozhe-nie 1 «Opasnye proizvodstvennye ob#ekty»* [Federal Law No. 116-FZ of 21.07.1997 (as amended by 04.11.2022) “On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities.” Appendix 1 “Hazardous Production Facilities”].

8. Prohorov A.M. *Bol'shaja sovetskaja jenciklopedija Benzol: v 30 t.* [Big Soviet Encyclopedia Benzene: in 30 tons.]. Moscow, Soviet Encyclopedia, 1969–1978.

9. Omel'janenko L.M., Senkevich N.A. *Klinika i profilaktika otravlenij benzolom* [Clinic and prevention of benzene poisoning]. Moscow, 1957.

10. Rospotrebnadzor. № 742. Dimethylbenzene (mixture of 2-, 3-, 4-isomers) (xylene mixture of isomers)//GN 2.2.5.3532-18 “Maximum permissible concentrations (MAC) of harmful substances in the air of the working zone.” Moscow, 2018. 170 p. (in Russian) 11.

12. NIOSH Chemical Hazards Pocket Guide. Available at: <http://www.cdc.gov/niosh/npgd/npgd0264.html> (accessed 15 March 2023).

13. Prohorov A.M. *Bol'shaja Sovetskaja jenciklopedija Masla neftjanye: v 30 t.* [The Great Soviet Encyclopedia of Oil Oils: in 30 tons.]. Moscow, Soviet Encyclopedia, 1974, V. XV. 632 p.

14. Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 04.02.2008 No. 6 “On Approval of Hygienic Standards GN 2.1.6.2326-08” (together with GN 2.1.6.2326-08. Maximum permissible concentrations (MPC) of pollutants in the atmospheric air of populated areas. Appendix 4 to GN 2.1.6.1338-03. Hygienic Standards”) (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation 29.02.2008 No. 112. (in Russian)

Об авторах:

ФОНОВА Светлана Ивановна

кандидат географических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени Ю.М. Борисова Воронежский государственный технический университет 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84 E-mail: Sveta.27@mail.ru

ЭПИТАШВИЛИ Алина Вадимовна

аспирант кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени Ю.М. Борисова Воронежский государственный технический университет 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84 E-mail: a.epit@mail.ru

БУРАК Екатерина Эдуардовна

кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства Воронежский государственный технический университет 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84 E-mail: burak.e@mail.ru

FONOVA Svetlana I.

PhD in Geographical Sciences, Associate Professor of the Civil Structures, Foundations and Foundations Chair named after Yu.M. Borisov Voronezh State Technical University 394006, Russia, Voronezh, 20th anniversary of the October Revolution str., 84. E-mail: Sveta.27@mail.ru

EPITASHVILI Alina V.

Postgraduate student of the Civil Structures, Foundations and Foundations Chair named after Yu.M. Borisov Voronezh State Technical University 394006, Russia, Voronezh, 20th anniversary of the October Revolution str., 84. E-mail: a.epit@mail.ru

BURAK Ekaterina E.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Housing and Communal Services Farms Chair Voronezh State Technical University 394006, Russia, Voronezh, 20th anniversary of the October Revolution str., 84. E-mail: burak.e@mail.ru

Для цитирования: Фонова С.И., Эпитапшвили А.В., Бурак Е.Э. Исследование работы газоочистительной установки // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3. С. 78–87. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.11.

For citation: Fonova S.I., Epitashvili A.V., Burak E.E. Study of the operation of the gas cleaning installation ferrous metallurgy enterprises. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 78–87. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.11.