

Научная статья

Original article

УДК 332.05

doi: 10.55186/2413046X_2023_8_11_549

**АНАЛИЗ РАССЕИВАНИЯ ВЫБРОСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ПЛАВКИ МЕТАЛЛА В ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ
EMISSION DISPERSION ANALYSIS OF THE METAL SMELTING
PROCESS IN AN ELECTRIC ARC FURNACE**



Ермолаева Вера Анатольевна, к.х.н., доцент кафедры «Техносферная безопасность», Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, E-mail: ErmolaevaVA2013@mail.ru

Ermolaeva Vera Anatolievna, Ph. D. in Chemistry, Associate Professor of the Department of Technosphere safety, Murom Institute (branch) Vladimir state University named A.G. and N.G. Stoletovs, E-mail: ErmolaevaVA2013@mail.ru

Аннотация. Проведен анализ рассеивания выбросов вредных веществ, выделяющихся в окружающую среду при проведении технологического процесса плавки металла в электродуговой печи. Проанализированы основные стадии технологического процесса, дана характеристика технологического оборудования, производства и сырья, материальных и энергетических ресурсов, используемых в данном технологическом процессе. Проведена идентификация и анализ экологических опасностей и вредностей, возникающих при плавлении стали. Выполнен расчет распределения концентраций токсичных веществ в приземном слое атмосферы.

Abstract. An analysis of the dispersion of emissions of harmful substances released into the environment during the technological process of metal smelting in

an electric arc furnace was carried out. The main stages of the technological process are analyzed, characteristics of technological equipment, production and raw materials, material and energy resources used in this technological process are given. The identification and analysis of environmental hazards and hazards arising from steel melting was carried out. The distribution of concentrations of toxic substances in the surface layer of the atmosphere has been calculated.

Ключевые слова: рассеивание выбросов, плавка металла, экологическая безопасность, приземная концентрация вредного вещества

Key words: dispersion of emissions, metal smelting, environmental safety, ground concentration of harmful substances

Введение

Для оценки негативного влияния на природные системы данного технологического процесса необходимо проанализировать и оценить основные стадии технологического процесса, дать характеристику технологического оборудования, производства и сырья, материальных и энергетических ресурсов, используемых в данном технологическом процессе, произвести идентификацию и анализ экологических (в большей степени) и производственных опасностей и вредностей, возникающих при плавлении стали.

Основное технологическое оборудование

В данной работе проанализирован технологический процесс плавки металла в электродуговой печи на плавильном участке с точки зрения его экологической опасности для природных экосистем и здоровья человека. Рассмотрено технологическое оборудование: две электродуговые печи ДС-6Н1 с имеющимися основными техническими данными и характеристиками. Технологический процесс включает в себя восемь основных стадий: шихтоподготовка; подготовка печи к плавке; завалка; плавление и окисление примесей; предварительное раскисление металла; легирование металла; рафинирование металла; выпуск металла.

Шихтоподготовка заключается в подготовке железной руды,

шлакообразующих и заправочных материалов для дальнейшей плавки в электропечи. Материалы должны быть сухие, предварительно прокаленные в печи в соответствии с требованиями на подготовку исходных материалов. Все материалы должны соответствовать приведённому в таблице 1 химическому составу.

Таблица 1. Химический состав шихты

Наименование материала	Содержание компонентов, %							
	CaO+MgO	FeO, Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P	CaF ₂
Руда железная КЛ 21,22 или железорудные окатыши	-	58-64	5,5	Не ограничивается				
Известь	88	3	3	-	-	1,5	-	0,01
Известняк металлургич. фракции 20-60мм	55	-	3	44	-	-	-	-
Шпат плавиковый ФК92	3	-	3	-	-	-	-	92
Магнетитовый порошок	4	-	4	-	88	-	-	-

Печь подготавливается к плавке: проверяется состояние элементов системы охлаждения, электродержателей, сводового кольца, рабочего окна, кожуха печи, очищается скребком от остатков металла и шлака. Подину и откосы печи заправляют магнетитовым порошком с увлажнённым жидким стеклом. Металл из-под печи освобождают от шлака и используют на переплав вместе с возвратами. На шихтовом участке готовится раскислительная смесь. Перед подачей шихты на подину печи загружается известняк в количестве 40 кг на 1 т металлошихты и железная руда 10-20 кг на 1 т металлошихты.

По мере плавления шихты в печь добавляется известняк из расчёта получения основности шлака $CaO/SiO_2=2,5-4,5$ в количестве 10-15 кг/т металлозавалки и железорудные окатыши в количестве 5-10 кг/т металлозавалки. Для разжижения шлака при необходимости подаётся плавиковый шпат (не более 12 кг). Присадка начинается по мере появления зеркала металла и производится малыми порциями с перерывами не менее 5 мин по 10-12 кг.

После полного расплавления шихты отбирают первую пробу металла для определения содержания углерода и фосфора. В конце кипения отбирают вторую пробу металла на содержание углерода и фосфора. Затем при включенной печи удаляют шлак с помощью деревянного или угольного скребка. После достижения необходимого количества углерода не более 2% производится предварительное раскисление металла углеродом электродов, бруском алюминия на штанге в количестве 3 кг на плавку, затем вводится силикомарганец с учётом ввода 2-3% марганца.

Легирование металла проводится за счёт загрузки в печь нагретого до 600-800°C ферромарганца в 3-4 приёма с интервалом 6-10 мин между загрузками. На основании анализа проб металла и шлака проводят корректировку состава по марганцу и кремнию. Получение в металле необходимого содержания кремния (0,63%) достигается присадкой в печь кускового 45% ферросилиция за 5-7 мин до выпуска плавки. Общая продолжительность плавки должна быть не более 3,5 часов при номинальной загрузке печи. По окончании технологического процесса плавки производится выпуск металла.

Основным технологическим оборудованием на данном участке является электродуговая печь ДС-6Н1 и два мостовых крана. Тепло, необходимое для процесса получается при помощи электрических дуг, возникающих при соприкосновении графитовых электродов ЭГ-20 с подготовленной и загруженной шихтой. Характеристики электродов: удельный вес – 2,2 г/см²; диаметр электродов – 300 мм; прочность: на сжатие – 230-290 кг/см; теплопроводность 30 ккал/м³с·град; начало окисления – при t=600 °С; содержание золы в электроде – не более 1%; удельное электросопротивление – 8-15 Ом·мм/м; средний расход электрода на 1000 кВт·ч – 7-10 кг; максимальный ток электрода – 9900 А. Печь работает на трёхфазном токе и имеет три электрода.

Технические характеристики печи ДС-6Н1: напряжение печи – 220 В; сила тока – 4000 А; ёмкость – 6 т (по жидкому металлу);

производительность печи – 2 т/ч; продолжительность цикла работы печи – 2 ч 30 мин; удельный расход электроэнергии – 500 кВт·ч/т; пределы первичного напряжения электропечного трансформатора – 6-10 кВ; размеры печи: диаметр печи – 2260 ± 10 мм; высота от порога до верха – 1300 ± 5 мм; размеры проёма рабочего окна: высота – 500 ± 5 мм; ширина – 640 ± 5 мм.

При выплавке марганцовистой стали, используют следующие шихтовые и шлакообразующие материалы:

- а) предельный чугун марок П1, П2 класс А, группа 2, категория 1...5;
- б) стальной лом – чистый класс 1, категория А, Б;
- в) стальная стружка марок 14А, 15А (18 кг на 1 т жидкого металла);
- г) ферромарганец марки ФМн88У1Р30-3 (10 кг на 1 т жидкого металла);
- д) ферросилиций марки ФС 75-3 (11 кг на 1 т жидкого металла);
- е) алюминий – чушковый марок АВ 91, 92, порошкообразный (1 кг на 1 т жидкого металла);
- ж) силикокальций марок СК25-3, СК30-3 (11 кг на 1 т металла);
- з) сухой песок SiO_2 (30 кг на 1 т жидкого металла).

Готовая продукция представлена высокомарганцовистым литьем: сталь 110Г13Л, 110Г13Х2Л.

Анализ степени влияния технологического процесса на окружающую среду

Исходя из анализа данного технологического процесса, материального и энергетического баланса, физико-химических основ технологического процесса была проведена оценка степени влияния изучаемого производства на окружающую среду. Данные о количестве выделяющихся веществ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Выделяющиеся отходы от электропечи ДС-6Н1

Агрегатное состояние отходов	Наименование отхода	Класс опасности	Количество вредного вещества, т/год
Газообразные	взвешенные вещества (пыль	3	12,406
	содержащая SiO ₂),	-	
	аэрозоль масла,	2	
	оксид азота (IV), оксид углерода (II)	4	
Жидкие	Нагретая вода охлаждающего контура	5	30000
Твердые	металлургические шлаки, съемы и пыль, прочие твердые минеральные отходы, окалина, бой огнеупоров	4	2759,1559

Таким образом, наибольший объем образующихся вредных веществ находятся в твердом и жидком состоянии, однако они не оказывают сильного воздействия на окружающую среду, т.к. имеют 4 класс опасности и наибольшая их часть передается другим предприятиям для дальнейшего использования. Сточные воды от литейного участка поступают на блок очистных сооружений, где остужаются и возвращаются в производственный процесс.

Основное негативное воздействие на окружающую среду оказывают образующиеся в ходе технологического процесса загрязнители, выбрасываемые в атмосферу – пыль, содержащая SiO₂, оксид азота (IV), оксид углерода (II) и аэрозоль масла. Эти вещества распространяются на значительные расстояния от источника. Попадая в водные объекты и накапливаясь в почвах, участвуют в химических реакциях, в ходе которых образуются новые, токсичные соединения.

Для анализа степени влияния технологического процесса на окружающую среду были установлены предельно допустимые выбросы

(ПДВ) для данного источника с учетом фоновых концентраций вредных веществ. ПДВ определяются по следующей формуле

$$ПДВ = \frac{(ПДК - c_{\phi}) \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta} \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T} ,$$

где $ПДК$ – предельно допустимые концентрации i -го вещества входящего в состав газовой смеси;

c_{ϕ} - фоновая концентрация, для оксида азота (IV) - 0,03 мг/м³, оксид углерода (II) - 1,5 мг/м³;

H – высота источника выброса над уровнем земли, м; $H=12$ м;

A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, $A=140$;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, $F=1$. Для мелкодисперсных аэрозолей (аэрозоль масла, пыль кремнесодержащая) $F=3$;

m и n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса.

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta=1$;

ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_r и температурой окружающего атмосферного воздуха T_b . Принимали температуру окружающего атмосферного воздуха T_b равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года (июль, 23,3 °С) и наиболее холодного месяца (январь, -20°С). Температура выбрасываемой в атмосферу газовой смеси $T_r = 96$ °С. Следовательно, в теплый период года $\Delta T = T_r - T_b = 96 - 23,3 = 72,7$ °С.

Расчет ПДВ осуществлялся для каждого из вредных веществ, с учетом имеющихся специальных средств очистки газовой смеси. Далее было произведено сравнение рассчитанных ПДВ с массами выбрасываемых вредных веществ. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Выбросы вредных веществ в атмосферный воздух от двух электродуговых печей типа ДС-6Н1 в сравнении с их ПДВ

Вредные вещества	Класс опасности	Масса вещества, т/год	ПДВ, т/год	ПДВ, г/с
Взвешенные вещества (пыль содержащая SiO ₂)	4	4,080	1,626	0,441
Аэрозоль масла	-	0,526	3,484	0,112
Оксид азота (IV)	2	2,344	4,796	0,154
Оксид углерода (II)	4	5,456	11,508	0,370

Из таблицы видно, что количество всех вредных веществ выбрасываемых в атмосферный воздух не превышает ПДВ, кроме пыли содержащей SiO₂. Масса пыли кремниесодержащей значительно превышает предельно-допустимый выброс.

Определение и расчет рассеивания выбросов вредных веществ в атмосферу

Для практических расчетов рассеивания выбросов в атмосфере использовался метод, основанный на математической модели рассеивания газообразных и аэрозольных примесей в атмосфере воздуха. Были собраны исходные сведения об источнике загрязнения, необходимые для расчетов максимальных приземных концентраций: скорость выхода газовой смеси $\omega_0=20,6$ м/с, масса выбрасываемого в атмосферу оксида углерода (II) 0,370 г/с, масса аэрозоля масла, выбрасываемого в атмосферу 0,036 г/с, масса оксида азота (IV) 0,159 г/с, масса SiO₂ 2,55 г/с.

Определение максимальных значений приземных концентраций токсичных веществ в разные периоды года

Максимальное значение приземной концентрации вредных веществ $C_{ми}$ мг/м³, при выбросе газовой смеси из одиночного горячего источника ($\Delta T \gg 0$) с круглым устьем, определяется по формуле

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}},$$

где M – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с.

Вначале определяется безразмерный коэффициент f для теплого периода года по формуле

$$f = 1000 \cdot \frac{20,6^2 \cdot 0,6}{12^2 \cdot 72,7} = 24,32.$$

Определяем безразмерный коэффициент m , учитывающий условия выхода газовой смеси из устья источника выброса по выражению

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{24,32} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{24,32}} = 0,466.$$

Чтобы рассчитать параметр v_M определяется расход газовой смеси по выражению

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 20,6 = 5,82 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Зная расход газовой смеси, определяется параметр v_M

$$v_M = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{5,82 \cdot 72,7}{12}} = 2,13.$$

Определяем параметр n в зависимости от v_M : $v_M > 2$, то $n = 1$.

Зная все необходимые параметры, были произведены расчеты максимальных приземных концентраций вредных веществ, выделяемых в атмосферный воздух:

а) для оксида углерода (II) $C_{CO} = \frac{140 \cdot 0,37 \cdot 1 \cdot 0,466 \cdot 1 \cdot 1}{12^2 \cdot \sqrt[3]{5,82 \cdot 72,7}} = 0,022 \text{ мг/м}^3$;

б) для пыли, содержащей SiO_2 $C_{\text{Пыли}} = \frac{140 \cdot 2,55 \cdot 3 \cdot 0,466 \cdot 1 \cdot 1}{12^2 \cdot \sqrt[3]{5,82 \cdot 72,7}} = 0,46 \text{ мг/м}^3$;

в) для оксида азота (IV) $C_{NO_2} = \frac{140 \cdot 0,159 \cdot 1 \cdot 0,466 \cdot 1 \cdot 1}{12^2 \cdot \sqrt[3]{5,82 \cdot 72,7}} = 0,0096 \text{ мг/м}^3$;

г) для аэрозоли масла $C_{\text{Аэр.Масла}} = \frac{140 \cdot 0,036 \cdot 1 \cdot 0,466 \cdot 1 \cdot 1}{12^2 \cdot \sqrt[3]{5,82 \cdot 72,7}} = 0,0021 \text{ мг/м}^3$.

Полученные максимальные приземные концентрации вредных веществ сравнивали с максимально разовыми ПДК.

Определение расстояния X_M от источника выбросов

Определили расстояние X_M , м, от источника выбросов, на котором приземная концентрация C при неблагоприятных метеорологических условиях достигает максимального значения C_M :

$$X_M = \frac{5-F}{4} dH,$$

где d – безразмерный коэффициент, определяется по формуле

$$d = 7 \cdot \sqrt{v_M} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}),$$

$$d = 7 \cdot \sqrt{2,13} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{24,32}) \approx 18,39.$$

Вычисляем расстояние от источника выбросов X_M , (м) для каждой группы веществ:

- для газов $X_M = \frac{5-1}{4} \cdot 18,39 \cdot 12 = 220,68$ м,

- для аэрозолей $X_M = \frac{5-3}{4} \cdot 18,39 \cdot 12 = 110,34$ м.

Расчет рассеивания примесей проводился применительно к неблагоприятным метеорологическим условиям, т.е. таким, когда:

- а) имеет место интенсивный турбулентный режим в атмосфере;
- б) скорость ветра достигает опасного значения, при которой концентрация вредных примесей на уровне дыхания достигает максимальных значений.

Рассчитано значение опасной скорости ветра u_m , м/с, на уровне 10 м от земли, при которой достигается наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ, при условии $f < 100$ и $v_M > 2$:

$$u_m = v_M \cdot (1 + 0,12 \sqrt{f}).$$

Подставляя известные данные получим значение опасной скорости ветра $u_m = 3,39$ м/с. По полученным данным можно сделать вывод о том, что радиус распространения газообразных токсичных веществ практически в два

раза больше, чем радиус распространения аэрозолей.

При скоростях ветра, отличных от опасной, уровень максимальных концентраций снижается, а координаты его смещаются. Тогда максимальное значение приземной концентрации вредного вещества c_{mi} определяется по формуле

$$c_{mi} = r \cdot c_m$$

где r – безразмерная величина, которая может определяться в зависимости от отношения u/u_m по формулам

$$r = 0,67 \cdot (u/u_m) + 1,67 \cdot (u/u_m)^2 - 1,34 \cdot (u/u_m)^3, \quad \text{при } u/u_m \leq 1$$

$$r = \frac{3(u/u_m)}{2(u/u_m)^2 - (u/u_m) + 2}, \quad \text{при } u/u_m > 1.$$

где u – расчетная скорость ветра равная 8 м/с.

Таблица 4. Корректировка максимальной приземной концентрации токсичного вещества по румбам

Румбы	U/U_m	r	C_{CO}	C_{NO2}	$C_{пыли}$	$C_{аэроз. м.}$
С	60,2047	0,0251	0,0004	0,00015	0,0025	0,000035
СВ	60,2047	0,0251	0,0004	0,00015	0,0025	0,000035
В	42,1433	0,0360	0,0005	0,00022	0,0036	0,000050
ЮВ	54,1842	0,0279	0,0004	0,00017	0,0028	0,000039
Ю	120,4094	0,0125	0,0002	0,00007	0,0012	0,000018
ЮЗ	102,3480	0,0147	0,0002	0,00009	0,0015	0,000021
З	78,2661	0,0193	0,0003	0,00012	0,0019	0,000027
СЗ	84,2866	0,0179	0,0003	0,00011	0,0018	0,000025

Расстояние от источника выброса X_{mi} (м), на котором при скорости ветра u и неблагоприятных метеорологических условиях приземная концентрация вредных веществ достигала максимального значения c_{mi} (мг/м³), определяется по формуле

$$X_{mi} = p \cdot x_m,$$

где p – безразмерный коэффициент, который определяется в

зависимости от отношения u/u_M по следующей формуле

$$p = 0,32u/u_M + 0,68, \text{ при } u/u_M > 1.$$

Данные расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 5. Корректировка расстояния до максимального значения концентрации i - го вещества по румбам (X_{mi})

Румбы	U/U_M	X_{mi} , м
С	60,2047	9541,93
СВ	60,2047	9541,93
В	42,1433	6776,97
ЮВ	54,1842	8620,24
Ю	120,4094	18758,54
ЮЗ	102,3480	15993,58
З	78,2661	12306,9
СЗ	84,2866	13228,57

Для расчета области распространения вредных веществ использовали компьютерную программу, в которую заносили следующие входные данные: метеорологические характеристики местности, сведения об источнике выбросов, сведения о выбрасываемых веществах и их фоновых концентрациях и др. Расчет производился с перебором всех направлений ветра.

Расчет и построение зоны активного загрязнения

Зона активного загрязнения (ЗАЗ) представляет собой кольцо, заключенное между окружностями с внутренним и внешним радиусами

$$r_1 = 2 \cdot \varphi \cdot h;$$

$$r_2 = 20 \cdot \varphi \cdot h$$

где h – высота источника, м;

φ – безразмерная поправка на подъем факела в атмосфере определяется по формуле

$$\varphi = 1 + \Delta T / 75,$$

где ΔT - среднегодовое значение разности температур в устье трубы и окружающей среде, °С.

Для исследуемого источника частотная роза по направлениям ветров резко отличается от круговой, поэтому границы ЗАЗ были откорректированы по румбам. Для каждого из румбов расчетный размер ЗАЗ L , м, может определяться по формуле

$$L = L_o \cdot P / P_o,$$

где L – расчетный размер ЗАЗ по румбу, м;

P – продолжительность ветров по румбу, %;

P_o – 12,5% (т.к. число румбов 8, то $100/8=12,5$);

L_o – расстояние до границы ЗАЗ.

Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6. Корректировка расстояния границы ЗАЗ по румбам ($X_{ми}$)

Румбы	$X_{ми}$, м
С	262,54
СВ	262,54
В	171,52
ЮВ	237,12
Ю	524,58
ЮЗ	473,55
З	358,19
СЗ	383,76

Таблица 7. Расчетные концентрации вредных веществ в сравнении с максимально разовыми ПДК рабочей зоны

Вредные вещества, выделяемые в составе газовой смеси	Класс опасности	ПДК _{М.Р.} , мг/м ³	Расчетные концентрации вредных веществ, мг/м ³ /доли ПДК
Оксид углерода (II)	4	5,000	0,022/0,004
Оксид азота (IV)	2	0,085	0,0096/0,113
Пыль кремнийсодержащая	3	0,300	0,46/1,533
Аэрозоль масла	-	0,050	0,0021/0,042

Из таблицы видно, что наиболее значимыми являются выбросы пыли содержащей SiO₂, её максимальные концентрации составили 1,533 ПДК. Остальные вещества рассеиваются в воздухе и не формируют приземных концентраций, превышающих ПДК. Следовательно, существует необходимость снижения концентраций пыли, содержащей SiO₂ в выбрасываемой газовой смеси.

Заключение

На основе анализа технологического процесса плавки металла в электродуговой печи дана оценка негативного влияния на природные системы. Рассчитаны концентрации вредных веществ в приземных слоях атмосферы. Полученные данные будут служить основой для разработки систем обеспечения экологической и производственной безопасности, для обоснования необходимости и выбора метода очистки выбросов в атмосферу.

Список источников

1. Рутькова К.С., Ермолаева В.А. Обеспечение экологической безопасности при производстве ацетилена, Международный журнал гуманитарных и естественных наук, № 12 – 3(63), 2021, с. 122-126.
2. Ермолаева В.А., Козлова Я.Ю. Исследование технологического процесса получения алюминия электролизом глинозема, Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2016. № 4(30). с. 10-15.

3. Инженерная экология: Учебник / Под ред. проф. В.Т. Медведева. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000751098>
4. Литейное производство: учебник / под ред. Курдюмова [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?id>
5. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456074826>
6. Мухленов И.П. Общая химическая технология. Портал научно-технической информации [Электронный ресурс] - URL: <http://nglib.ru/annotation.jsp?book=014935>
7. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия. - [Электронный ресурс] - URL: <http://padaread.com/?book=13794>

References

1. Rul`kova K.S., Ermolaeva V.A. Obespechenie e`kologicheskoy bezopasnosti pri proizvodstve acetilena, Mezhdunarodny`j zhurnal gumanitarny`x i estestvenny`x nauk, № 12 – 3(63), 2021, s. 122-126.
2. Ermolaeva V.A., Kozlova Ya.Yu. Issledovanie texnologicheskogo processa polucheniya alyuminiya e`lektrolizom glinozema, Mashinostroenie i bezopasnost` zhiznedeyatel`nosti. 2016. № 4(30). s. 10-15.
3. Inzhenernaya e`kologiya: Uchebnik / Pod red. prof. V.T. Medvedeva. [E`lektronny`j resurs]. Rezhim dostupa: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000751098>
4. Litejnoe proizvodstvo: uchebnik / pod red. Kurdyumova [E`lektronny`j resurs]. Rezhim dostupa: <https://znanium.com/catalog/document?id>
5. Metody` raschetov rasseivaniya vy`brosov vredny`x (zagryaznyayushhix) veshhestv v atmosfernom vozduxe [E`lektronny`j resurs]. Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/456074826>
6. Muxlenov I.P. Obshhaya ximicheskaya texnologiya. Portal nauchno-texnicheskoy informacii [E`lektronny`j resurs] - URL:

Московский экономический журнал. № 11. 2023

Moscow economic journal. № 11. 2023

<http://nglib.ru/annotation.jsp?book=014935>

7. Gel'perin N. I. Osnovny'e processy` i apparaty` ximičeskoj tehnologii, M.: Ximiya. - [E`lektronny`j resurs] - URL: <http://padaread.com/?book=13794>

Для цитирования: Ермолаева В.А. Анализ рассеивания выбросов технологического процесса плавки металла в электродуговой печи // Московский экономический журнал. 2023. № 11. URL: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-11-2023-16/>

© Ермолаева В.А., 2023. Московский экономический журнал, 2023, № 11.