

УДК 669.15'74-198:628.5.001.57

С.П. Шуваев, Ю.И. Коркодол, Л.А. Куцевол, М.И. Гасик, А.В. Жаданос

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПРОИЗВОДСТВА МАРГАНЦЕВОГО АГЛОМЕРАТА НА
БОАФ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И
АСПИРАЦИОННЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В
ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Анотація Виконано аналіз реалізованого комплексу заходів щодо модернізації технологічного і газоочисного обладнання виробництва марганцевого агломерату на БЗАФ (Богданівська збагачувальна агломераційна фабрика) з заміною гідромеханічної системи очищення газів високоефективною системою сухого очищення з рукавними фільтрами та застарілих нагнетачів імпорнтними. Викладені результати математичного моделювання розповсюдження пилогазових викидів за розробленою методикою

Ключові слова виробництво марганцевого агломерату, характеристика газоочисного обладнання, математичне моделювання, розповсюдження пилогазових викидів, навколишнє середовище.

Аннотация Выполнен анализ реализованного комплекса мероприятий по модернизации технологического и газоочистного оборудования производства марганцевого агломерата на БОАФ (Богдановская обогатительная агломерационная фабрика) с заменой гидромеханической системы очистки газов високоефективной системой сухой очистки с рукавными фильтрами и устаревших нагнетателей импортными. Изложены результаты математического моделирования распространения пылегазовых выбросов по разработанной методике

Ключевые слова производство марганцевого агломерата, характеристика газоочистного оборудования, математическое моделирование, распространение пылегазовых выбросов, окружающая среда.

Summary The analysis of realized complex of measures for modernization of technological and gas cleaning equipment for producing manganese agglomerate at the BEAF (Bogdanovska enrichment agglomeration factory) with replacing of hydro-mechanical gas treatment system by high efficiency dry gas cleaning with bag house and outdated compressors by import have been performed. The results of mathematical modeling of gas and dust emissions spreading by the developed technique have been outlined.

Key words producing of manganese agglomerate, characteristic of gas-cleaning equipment, mathematical modeling, dust and gas emissions spreading, environment.

Актуальность исследования

В числе основных задач промышленных предприятий горно-металлургического комплекса Украины является разработка и внедрение IT-технологий, уменьшающих образование пылегазовых выбросов, а также сооружение газоочистных установок на всех технологических стадиях производства металлургической продукции с целью дальнейшего снижения выделения и распространения пылегазовых выбросов в окружающую среду.

Богдановская обогатительно-агломерационная фабрика ПАО «БОАФ» в последнее десятилетие была подвергнута существенной модернизации практически всего

комплекса обогатительного, агломерационного оборудования и газоочистных установок. В настоящее время БОАФ представляет собой мобильное, высокотехнологичное, практически полностью механизированное, автоматизированное и экологически чистое обогатительно-агломерационное предприятие.

В ранее опубликованных наших статьях была представлена общая характеристика обогатительно-агломерационного комплекса оборудования и действующей технологии производства марганцевого агломерата с использованием окисных и карбонатных концентратов, произведенных обогатительными фабриками в составе ПАО «ОГОК». Наряду с этими материалами были изложены принципиальные положения разработанной и в значительной мере реализованной программы поэтапной модернизации газоочистного оборудования, что позволило существенно снизить выбросы твердых пылегазовых веществ в окружающую среду.

Настоящая статья посвящена характеристике природоохранной программы и системы пылегазоочистных установок на всех основных и вспомогательных участках производства марганцевого агломерата на БОАФ, моделированию явлений и процессов распространения пылегазовых образований в том числе и воздействия метеорологических и атмосферных параметров.

В связи с постановкой цели настоящей статьи, анализу распространения выбрасываемых пылегазовых выбросов предшествует краткая характеристика разработанной и внедренной эффективной пылегазоочистной системы при производстве марганцевого агломерата марки АМ-2 на БОАФ.

Краткая характеристика оборудования улавливания и очистки пылегазовых образований при производстве марганцевого агломерата марки АМ-2 на БОАФ

В период 2013-2015 г.г. на БОАФ специалистами ПАО «ОГОК» и института ДЭС проведена значительная работа по внедрению более эффективной системы пылегазоочистки в зоне спекания и зоне охлаждения агломерата с установкой рукавных фильтров ФРИР-7700 и ФРИР-5000. Проведена замена действовавших устаревших двух нагнетателей на новые нагнетатели типа DHRV-35-1400/К фирмы «Venti Oelde» (Германия) в зоне спекания и ДН-26х2Ф поставки ЗАО «РУВЕН» в зоне охлаждения. Установка нового нагнетателя на ФРИР-7700 позволила заменить устаревшую систему пылегазоочистки в зоне спекания на более эффективную с использованием искрогасителя ЦГ-450 и рукавного фильтра ФРИР-7700 [1].

Введение в эксплуатацию более мощного нагнетателя DHRV-35-1400/К позволило достигать разрежения в коллекторе отходящих газов до 12-14 кПа. В связи с этим появилась возможность увеличить доленое участие мелких марганцевых концентратов крупностью 1,0-0 мм в концентратной шихте с 5% до 20%. Ниже на рис. 2 приведена современная аппаратурно-технологическая схема производства марганцевого агломерата и схема пылегазоочистных установок на БОАФ после существенной модернизации всего комплекса обогатительного, агломерационного и пылегазоочистного оборудования.

Установка нового нагнетателя ДН-26х2Ф в зоне охлаждения ФРИР-5000 позволила уйти от существующей низкоэффективной гидромеханической очистки газа и применить высокоэффективный рукавный фильтр ФРИР-5000 с сухой выгрузкой пыли в концентратную шихту.

Внедрение системы пылегазоочистки с возвратом уловленной пыли непосредственно в шихту, позволило снизить удельный расход марганцевого концентрата с 1,44 т/т до 1,422 т/т агломерата и уменьшить потери марганцевого концентрата в пересчете на марганец при производстве агломерата с 3% до 1,7% [1].

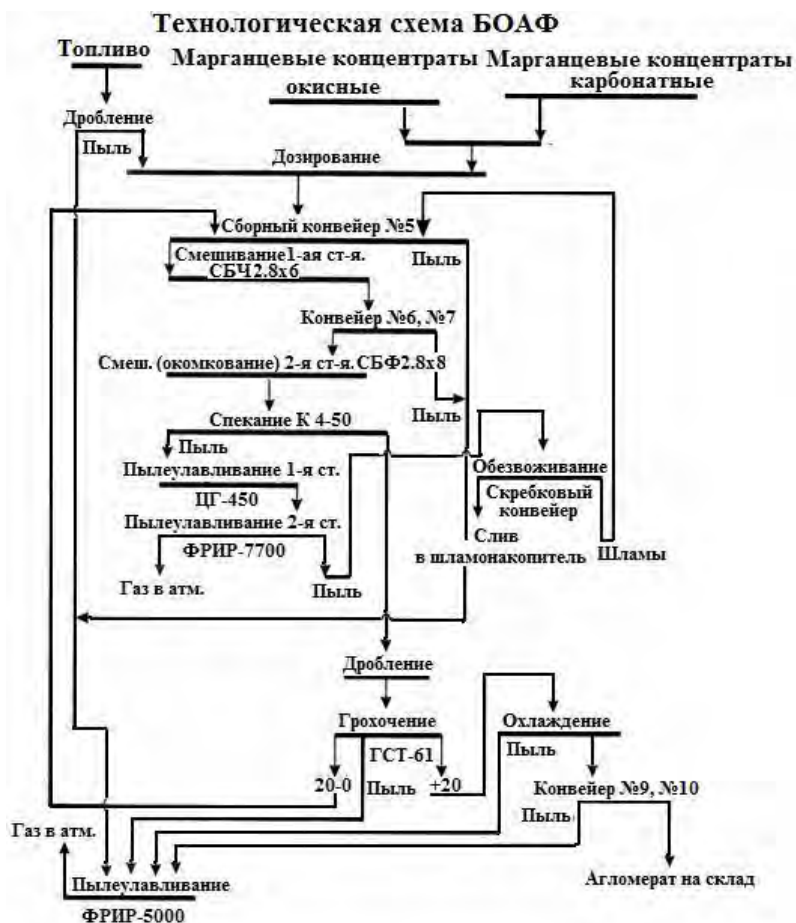


Рисунок 1 – Современная аппаратно-технологическая схема производства марганцевого агломерата и система пылегазоочистных установок на «БОАФ» ПАО «ОГК»

Ниже в табл. 1 приведены сравнительные данные технологических показателей производства марганцевого агломерата до и после внедрения новой пылегазоочистки на БОАФ.

Таблица 1

Сравнительные показатели производства марганцевого агломерата на БОАФ до внедрения (2014 г.) и после внедрения (2015 г.) пылеочистки при спекании и охлаждении агломерата [1]

Показатели	До внедрения новой ПГОУ (2014 г.)			После внедрения новой ПГОУ (2015 г.)			Отклонение факта до и после внедрения +/-
	план	факт.	откл.	план	факт.	откл.	
Производство агломерата, тыс. тонн	325	287,06	-37,94	242	195,04	-46,96	-
Удельный расход концентрата, т/т агломерата	1,482	1,44	-0,042	1,48	1,422	-0,058	-0,018
Потери марганца при производстве агломерата	4,00	3,08	-0,92	4,00	1,67	-2,33	-1,41

Начиная с 2012 года, на БОАФ освоено производство мелкозернистых оксидных концентратов путем обогащения шламов шламохранилищ ОГОК обогатительных фабрик БОАФ. Отработана технология агломерации марганцевых концентратов с использованием мелкозернистых концентратов крупностью 0-1 мм в составе агломерационной шихты с максимально возможным долевым участием. При промышленном освоении этой важной технологии с вовлечением в производство обогащенных шламов техногенных хвостохранилищ существенное внимание было уделено вопросам улавливания и очистки пылегазовых образований на всех стадиях производства марганцевого агломерата.

Экологическая характеристика Богдановской агломерационной фабрики

Основными компонентами, которые поступают в атмосферу при агломерации марганцевых руд, являются марганец и его соединения, прочие взвешенные вещества, оксид углерода, оксиды азота, сернистый ангидрид [2]. С целью сокращения антропогенного воздействия на окружающую среду на БОАФ установлены, как отмечено выше, современные фильтры ФРИР-7700 и ФРИР-5000 конструкции [ГП УкрНТЦ "Энергосталь"](#), обеспечивающие высокий уровень очистки (табл. 2). Прошедшие очистку газы выбрасываются из вытяжной башни высотой 100 м и диаметром 4,2 м [1].

Таблица 2

Мощность пылегазовых выбросов из вытяжной башни по компонентам и данные о ПДК вредных веществ со ссылкой на экологические нормативы Украины [1]

Наименование веществ	Разрешены			До уст. фильтров		После уст. фильтров	
	мг/м ³	г/с	Нормативный документ	мг/м ³	г/с	мг/м ³	г/с
MnO ₂	5	1,247	Приказ Минприроды №309 от 27.06.06	5,2	0,93	1,65	0,29
Пыль	10	-	Приказ Минприроды №671 от 21.12.12	19	3,4	5,9	0,98
CO	5499	-		5452	975	4996	923,6
NO _x	170	-		168,9	30,2	94,3	17,43
SO ₂	280	-		39,8	7,12	0,9	0,16

Таким образом, установленная система сухой газоочистки обеспечивает выполнение предприятием экологических нормативов Украины. Вместе с тем, подписание соглашения с Европейским союзом об ассоциированном членстве накладывает на наше государство обязательство привести экологические нормативы в соответствии с европейскими нормами. Сравнительный анализ экологических норм ЕС и Украины представлен в табл. 3.

Анализ данных таблицы показывает, что в более жесткие нормы на выбросы CO, SO₂, NO_x (по сравнению ЕС). При этом в ЕС более жесткие нормативы на выбросы недифференцированной пыли и соединений марганца. В Европейском союзе в соответствии с рекомендацией Европейского регионального бюро Всемирной организации здравоохранения [7] по пыли принят стандарт PM₁₀, согласно которому пыль с частицами размером менее 10 мкм независимо от ее химического состава является высокотоксичной, так как глубоко проникает в дыхательные пути человека, приводя к их заболеванию.

Таблица 3

Сравнительные требования по приземным ПДК в населенных пунктах в Украине и Европейском союзе [3-6]

Загрязняющее вещество	Время осреднения	Украина, мг/м ³	ЕС, мг/м ³
СО	30 мин.	5	-
	8 часов	-	10
	24 часа	3	-
NO _x	30 мин	0,085	-
	1 час	-	0,2 не должна быть превышена более чем 18 раз за год
	24 часа	0,04	0,125 не должна быть превышена более чем 3 раза за год.
	Средняя за год	-	0,04
SO ₂	30 мин	0,5	-
	1 час	-	0,350 не должна быть превышена более чем 24 раз за год
	24 часа	0,05	0,125 не должна быть превышена более чем 3 раза за год.
	Средняя за год	-	0,02
MnO ₂	30 мин	0,01	-
	24 часа	0,001	-
	Средняя за год	-	0,00015
Пыль недифф.	24 часа	0,15	0,05 не должна быть превышена более чем 3 раза за год
	Средняя за год	-	0,02
PM ₁₀	30 мин.	-	-
	24 часа	-	0,05 не должна быть превышена более чем 3 раза за год
	Средняя за год	-	0,02

С использованием спектрального, химического, петрографического и рентгеноструктурного анализов авторами [8] выполнен вещественный анализ состава марганецсодержащей пыли газоочистки аспирационных систем при агломерации марганцевых руд и выплавке марганцевых ферросплавов. Выполненные исследования [8] позволили определить химический (табл. 4) и дисперсный (табл. 5) состав пыли, образующейся при агломерации марганцевых руд выплавке марганцевых ферросплавов.

Таблица 4

Химический состав пыли, образующейся при агломерации марганцевых руд и выплавке марганцевых ферросплавов

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	сажа	п.п.п
9,8	5,65	6,5	10,7	1,6	43	0,06	0,63	22,06

Таблица 5

Дисперсный состав пыли, образующейся при агломерации марганцевых руд и выплавке марганцевых ферросплавов

Размер, мкм	50-250	10-50	5-10	2-5	1-2	<1
%	1,7	16,4	15,6	23,3	15,2	27,3

Поэтому, несмотря на достигнутые успехи в вопросах защиты окружающей среды на БОАФ необходимо оценить насколько выполненная модернизация системы улавливания пылегазовых выбросов соответствует нормативам Европейского союза. И, в случае необходимости, продолжить внедрение мероприятий по улучшению экологических показателей.

**Математическая модель процесса распространения
аспирационных пылегазовых образований**

Процесс распространения газовых выбросов включает в себя несколько взаимосвязанных составляющих: диффузионный фактор, фактор ветровой нагрузки (который отражает направленное перемещение газовых выбросов силой ветра; в отличие от диффузии, которая в отсутствие других причин создает симметричное по всем направлениям поле концентраций, ветровая нагрузка распределена неравномерно как по направлению, так и по времени); химический фактор (который характеризует интенсивность воздействия каждого компонента выбросов с компонентами атмосферы) [9, 10] (рис. 2).

Известны два подхода в математическом моделировании процесса распространения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы [11]. Первый из них основан на решении уравнения турбулентной диффузии и получил развитие в основном в государствах СНГ. Этот подход позволяет исследовать задачи с источниками пылегазовых выбросов разного типа (различными граничными условиями, характеристиками среды). Численные решения уравнения атмосферной диффузии с различными граничными условиями в дальнейшем были приняты в качестве основы инженерной модели, выполненной в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова и принятой в качестве нормативного документа ОНД-86 [12].

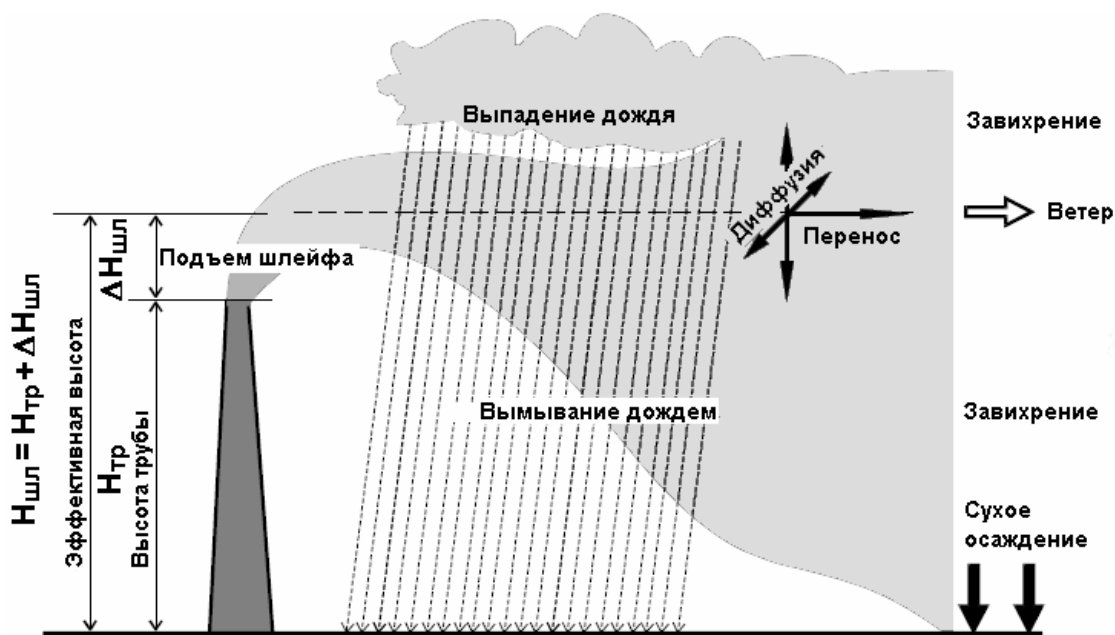


Рисунок 2 – Рассеивание загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу [10]

Второй подход, использующий эмпирико-статистический метод, в основном получил развитие в Европе и США. Соответствующие ему математические модели называются «гауссовыми». Они описываются плотностью распределения Гаусса. Эта методика рекомендована Агентством по охране окружающей среды США для проведения расчетов, носящих нормативный характер. Преимуществом методики Гаусса является ее сравнительно высокая точность при достаточно простой параметризации влияющих на рассеяние примесей факторов, а также возможность подстройки эмпирических параметров с учетом специфики конкретного источника пылегазовых выбросов [11].

Поэтому наиболее целесообразно для решения поставленной в настоящей работе задачи использовать модели рассеивания Гаусса. Концентрация загрязнений, выбрасываемых из точечного источника, описывается уравнением (1) [12].

$$c(x,y,z) = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot u_{Ншл} \cdot \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2(x)}\right) \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H_{шл})^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_{шл})^2}{2 \cdot \sigma_z^2(x)}\right) \right\} \quad (1)$$

где $c(x, y, z)$ – концентрация выбрасываемого вещества в точке с координатами x, y, z , мг/м³; Q – мощность непрерывного источника, мг/с; $u_{Ншл}$ – скорость ветра на высоте $H_{шл}$, м/с; x – расстояние от источника, м; y – поперечное расстояние от оси шлейфа, м; z – высота над поверхностью земли, м (рис. 2); $H_{шл}$ – конечный подъем шлейфа над землей (эффективная высота подъема шлейфа), м, $\sigma_y(x), \sigma_z(x)$ – стандартные отклонения рассеивания по осям y, z .

В уравнении (1) принимается допущение, что направление ветра совпадает с направлением оси Ox , а начало координат находится в основании источника (трубы) (рис. 3).

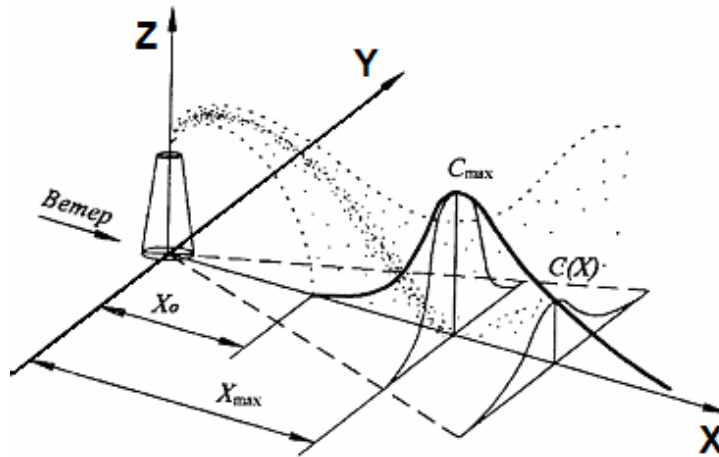


Рисунок 3 – Распространение газовых выбросов от точечного источника [14]

Существует несколько частных случаев моделей Гаусса, которые отличаются между собой способами функционального описания σ_y, σ_z . Одной из наиболее распространенных моделей является модель Пасквилла-Гиффорда, которая применяется для оценки загрязнений в радиусе 10 км от источника выбросов [15]. Значения стандартных отклонений σ_y, σ_z зависят от шести классов устойчивости атмосферы А-Ф – классов Пасквилла, которые позволяют учитывать различные метеорологические условия [16].

Таблица 6

Классы устойчивости атмосферы по Пасквиллу [16]

Скорость ветра, м/с	Классы устойчивости атмосферы А-Ф				
	Дневное время. Уровень солнечного освещения			Ночное время. Облачность	
	Сильный	Средний	Слабый	> 50%	< 50%
<2	А	А-В	В	Е	Ф
2-3	А-В	В	С	Е	Ф
3-5	В	В-С	С	Д	Е
5-6	С	С-Д	Д	Д	Д
>6	С	Д	Д	Д	Д

Пасквиллом и Гиффордом [16] предложены следующие уравнения для определения σ_y, σ_z :

$$\sigma_y = 456,12 \cdot x \cdot \tan\{0,0175[n-d \cdot \ln(x)]\}, \quad (2)$$

$$\sigma_z = a \cdot x^b, \quad (3)$$

где σ_y, σ_z – стандартные отклонения, м; x – расстояние от источника выброса, км; a, b, n, d – эмпирические коэффициенты, зависящие от классов устойчивости атмосферы [16].

Скорость ветра на эффективной высоте (т.е. Ншл) источника выбросов $u_{Ншл}$ рассчитывается из выражения:

$$u_{Ншл} = u \cdot \left(\frac{H_{mp}}{h_z} \right)^p \quad (4)$$

где H_{mp} – высота источника выбросов, м; h_z – высота замера приземной скорости ветра (обычно 10 м); p – эмпирический коэффициент, зависящий от классов устойчивости атмосферы и типа местности [16].

Эффективная высота подъема шлейфа Ншл над землей зависит от классов устойчивости атмосферы А-Г и расстояния от источника выбросов. Для классов устойчивости А-Д этот параметр определяется следующим образом [15]:

$$H_{шл} = H' + 1,6 \cdot \frac{F_b^{1/3} \cdot x_{max}^{1/3}}{u_{Ншл}} \quad \text{при } x < x_{max} \quad (5)$$

$$H_{шл} = H' + 1,6 \cdot \frac{F_b^{1/3} \cdot x^{1/3}}{u_{Ншл}} \quad \text{при } x \geq x_{max}$$

где H' – модифицированная высота источника выбросов, м; F_b – параметр Бриггса; x_{max} – расстояние достижения максимальной концентрации, м.

$$F_b = g \cdot \omega_0 \cdot D^2 \cdot \left(\frac{T_s - T_a}{4T_s} \right), \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; ω_0 – скорость выхода газов из источника выбросов, м/с; D – диаметр устья источника выбросов, м; T_s – температура газов, выбрасываемых в атмосферу, °С; T_a – температура окружающего воздуха, °С.

Модифицированная высота источника выбросов зависит от скорости ветра на эффективной высоте источника выбросов и скорости истечения газов из трубы

$$H' = H + 2 \cdot D \cdot \left(\frac{\omega_0}{u_{Ншл}} - 1,5 \right) \quad \text{если } \omega_0 < 1,5 \cdot u_{Ншл} \quad (7)$$

$H' = H$ в остальных случаях

Зная значение параметра Бриггса можно также определить расстояние от источника выбросов, на котором достигается максимальная концентрация вредного вещества.

$$x_{\max} = 49 \cdot F_b^{5/8} \text{ если } F_b < 55 \quad (8)$$

$$x_{\max} = 119 \cdot F_b^{2/5} \text{ } F_b \geq 55$$

Если $1,84 \cdot u_{\text{Ншл}} \geq x_{\max}$ методика расчета Ншл для классов устойчивости Е, F проводится, как описано выше для классов А-Д. В случае невыполнения условия эффективная высота источника определяется из выражения

$$H_{\text{шл}} = H' + 2,4 \left(\frac{F_b}{u_{\text{Ншл}} \cdot s} \right)^{1/3} \quad (9)$$

где s – коэффициент стабильности

$$s = g \cdot \frac{\partial \Theta / \partial z}{T_a} \quad (10)$$

По данным [16] $\partial \Theta / \partial z$ для класса стабильности Е равен 0,02 К/м, для F – 0,035 К/м.

Моделирование и анализ результатов

Выполнено моделирование распространения пылегазовых выбросов в зоне влияния Богдановской агломерационной фабрики. Ниже в качестве примера приведены поле приземных концентраций оксидов марганца (в пересчете на MnO_2), образующееся при пылегазовых выбросах из 100 м трубы предприятия (рис. 4).

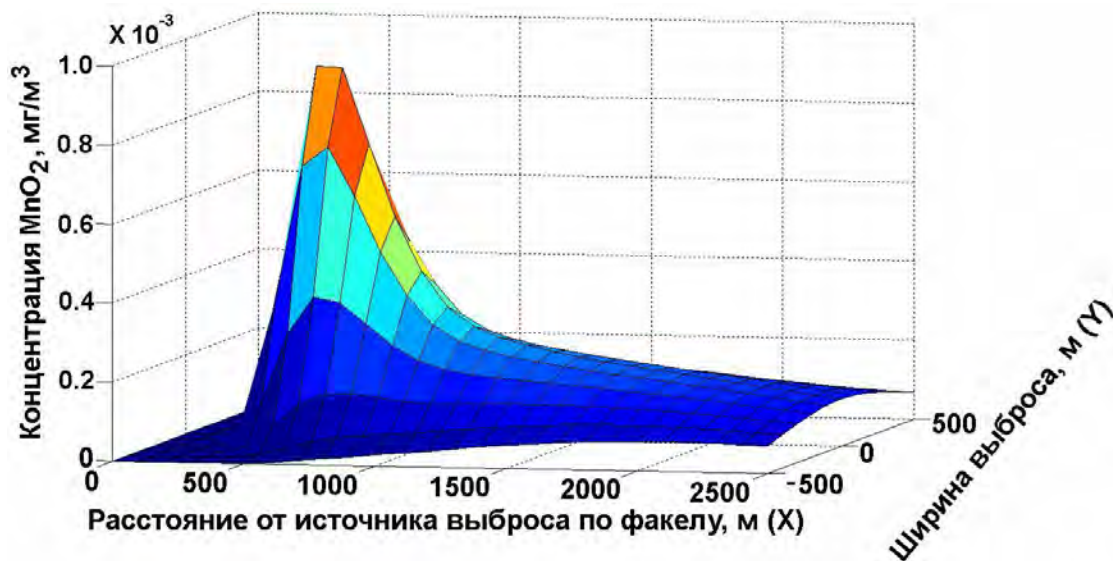


Рисунок 4 – Изменение приземной концентрации соединений марганца после внедрения фильтров (в пересчете на MnO_2) при выбросе из трубы $H_{\text{тр}} = 100$ м, $D = 4,2$ м при следующих начальных условиях: ($Q = 0,29$ г/с, $\omega_0 = 13,35$ м/с, $u = 2$ м/с, $T_s = 80^\circ\text{C}$; $T_a = 20^\circ\text{C}$, день, ясная погода)

Результаты расчетов хорошо согласуются с данными стационарных постов наблюдения г. Орджоникидзе, которые находятся на расстоянии 500-3000 м от источника выбросов.

Выводы

1. Выполнен анализ реализованной программы комплексных мероприятий по модернизации технологического и газоочистного оборудования производства марганцевого агломерата с заменой гидродинамической системы очистки

пылегазовых образований высокоэффективной системой сухой очистки пылегазовоздушной смеси в рукавных фильтрах и устаревших нагнетателей импортными.

2. Произведен анализ экологической характеристики агломерационного оборудования и систем улавливания и очистки пылегазовых образований на стадии спекания и охлаждения агломерата в том числе и при получении агломерата с использованием наряду с окисными и карбонатными концентратами тонкозернистого концентрата мокрого магнитного обогащения шлаков техногенного Свинаревского хвостохранилища.

3. Разработана наиболее приемлемая для условий работы фабрики в режиме агломерации марганцевых концентратов методика оценки распространения пылегазовых выбросов Богдановской агломерационной фабрики из вытяжной колонны высотой 100 м и диаметром 4,2 м. В результате численного моделирования установлено, что концентрация соединений марганца в зоне влияния предприятия не превышает ПДК 0,001 мг/м³. Максимальная приземная концентрация соединений на расстоянии 500 м от источников выбросов составляет 0,0085 мг/м³ (0,85 ПДК). На расстоянии 2,5 км от источников пылегазовых выбросов концентрация соединений марганца снижается до 0,0001 мг/м³ (0,1 ПДК).

4. Разработанная модель, базирующаяся на математических соотношениях, имеющая фундаментальную составляющую, позволяет в зависимости от метеорологических условий прогнозировать распространение других твердых и газообразных компонентов и оценивать эффективность создаваемых и внедряемых природоохранных мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду работающих предприятий горно-металлургического комплекса.

5. С учетом постепенной гармонизации природоохранного законодательства Украины с нормативами Европейского Союза рекомендуется продолжить усовершенствование систем газоочисток предприятия и дальнейшее внедрение природоохранных программ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуваев С.П. Модернизация агломашины, аглооборудования, совершенствование технологии производства марганцевого агломерата и внедрение новых пылеочистных установок на БОАФ / С.П. Шуваев, В.И. Бондарец, Л.А. Куцевол // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2016. – № 1. – С. 34-39.
2. Гасик М.И. Марганец. / М.И. Гасик. – М.: *Металлургия*, 1992. – 608 с.
3. Максименко Ю.Л. Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ: [справ. изд.]. / Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкина, В.Н. Шаприцкий. – М.: “СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ”, 1999. – 480 с.
4. Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий. - М.: РЭФИА, 1998. – 86 с.
5. Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: ГОСТ 12.1.007-76 (межгосударственный стандарт). – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1976 (переиздан межгосударственным совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999). – 4 с.

6. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe — <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF>.
7. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. UN City, Marmorvej 51, DK-2100 Copenhagen III, Denmark, 2013 – 35 стр.
8. Рудовосстановительные электропечи и технологии производства марганцевых ферросплавов: коллективная монография [под редакцией к.т.н. Куцина В.С. и д.т.н. Гасика М.И.] / В.С. Куцин, Б.Ф. Величко, М.И. Гасик, В.А. Гладких, А.Н. Овчарук, Ю.С. Пройдак, О.И. Поляков. – Днепропетровск: Национальная металлургическая академия Украины, 2011. – 508 с.
9. Максименко Ю.Л. Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ: [справ. изд.] / Ю.Л. Максименко, И.Д. Горкина, В.Н. Шаприцкий – М.: “СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ”, 1999. – 480 с.
10. Замай С.С. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города: [учеб. пособие]. / С.С. Замай, О.С. Якубайлик. – Красноярск: Красноярский государственный университет, 1998. – 109 с.
11. Сравнительный анализ некоторых математических моделей для процессов распространения загрязнений в атмосфере. И.В. Белов, М.С. Беспалов, Л.В. Ключкова [и др.]. // Матем. моделирование. 1999. – Т. 11, № 7. – С. 52–64.
12. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. - Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
13. Куцин В. С. Анализ процессов образования и распространения пылегазовых выбросов при агломерации марганцевых концентратов и выплавке ферросплавов на основе математического моделирования и экспериментальных данных / В.С. Куцин, А.В. Жаданос, М. И. Гасик // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2011. – № 4. – С. 28-32.
14. Вишнякова К.В. Анализ воздействия атмосферных факторов на распространение газовых выбросов с целью прогноза степени риска в зоне влияния металлургического предприятия: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – М.: 2011. – 28 с.
15. Milton R. Beychok. Fundamentals of Stack Gas Dispersion: [4th ed.]. – Newport Beach, CA:, 2005. – 201 p - ISBN 0964458802.
16. Pasquill F. Atmospheric dispersion parameters in gaussian plume modeling: [part II. Possible Requirements for Change in the Turner Workbook Values]. / F. Pasquill // EPA-600/4-76-030b, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711 – 1976.