

УДК 614.715

Золочевский С. П.,
к.т.н., доц. Подлипенская Л. Е.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВЫБРОСАМИ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ЦЕХА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

Рассмотрен технологический процесс производства агломерата на предприятии черной металлургии. Описаны особенности отбора проб воздуха с помощью измерительного прибора Testo 340 и электроаспиратора в зоне спекания агломашины металлургического комбината. Выполнена оценка максимальных значений приземной концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Определены взвешенные вещества как приоритетные, приводящие к наибольшему загрязнению атмосферного воздуха. Для улучшения экологической ситуации предложено использовать подход наилучших доступных технологий для внедрения в агломерационное производство.

Ключевые слова: выбросы в атмосферу, агломерационное производство, агломерат, отбор проб, стандартный индекс загрязнения атмосферы, наилучшие доступные технологии.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Горнодобывающая и металлургическая промышленности наносят серьезный ущерб как земной, так и водной среде в местном и региональном масштабах. На рудниках и металлургических заводах образуется большое количество отходов, которые необходимо размещать на суше или в водных системах. Основные последствия деятельности металлургического производства связаны с загрязнением воздуха, почвы, речной воды и грунтовых вод тяжелыми металлами. И для сокращения негативного воздействия на природу такому предприятию нужно сделать многое, начиная от разработки проекта санитарно-защитной зоны и заканчивая комплексным мониторингом выбросов в атмосферу.

Процессы производства чугуна и стали отличаются своей интенсивностью по выбросам CO_2 и по затратам энергии. Среди тяжелой промышленности сектор черной металлургии занимает первое место по выбросам CO_2 , и второе — по потреблению энергии. На этот сектор приходится около 8 % мирового конечного спроса на энергию и 7 % выбросов CO_2 в энергетическом секторе. По данным за 2019 г. на

сектор черной металлургии в мире приходится 2,6 Гт прямых выбросов CO_2 в год.

По данным Алчевской городской санитарно-эпидемиологической станции за период 2000–2013 гг. в Луганской области объемы выбросов на 1 км^2 в 78,3 раза выше в промышленных городах, чем в сельских районах, в том числе от стационарных источников — в 83 раза и от передвижных средств — в 59,6 раза ($p < 0,001$). Самые значительные выбросы на 1 км^2 наблюдались в г. Алчевске с металлургическим и коксохимическим производствами — $2090,850 \pm 55,811$ тонн, в том числе от предприятий — 96,18 % и передвижных средств — 3,82 % [1].

Предприятия черной металлургии при извлечении металлов вынуждены использовать руду с очень низким содержанием полезных компонентов. Таким образом, на обогащение и плавку поступает огромный объем руды, а это, в свою очередь, порождает большие количества отходящих газов из неиспользуемых компонентов. Именно загрязнение атмосферы является главной причиной экологических проблем, возникающих в результате деятельности металлургических гигантов. Выбросы из труб приводят к загрязнениям почв, уничтоже-

нию растительности и образованию техногенных пустошей вокруг крупных заводов.

Сложившиеся обстоятельства с негативным влиянием промышленного производства на экологию требуют инновационного подхода к своему решению. Здесь должен быть включен целый комплекс мероприятий на организационном и техническом уровне, направленных на борьбу с предотвращением и снижением неблагоприятного влияния производства на природу, включая и здоровье человека.

Объект исследования — выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от агломерационного цеха (АГЦ) предприятия чёрной металлургии.

Предмет исследования — степень загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ аглофабрики металлургического производства чугуна и стали. Исследование выполнено на примере Алчевского металлургического комбината (АМК).

Цель работы — оценка загрязнения атмосферы выбросами агломерационной фабрики и разработка рекомендаций по улучшению качества воздуха.

Материалы и методы исследования. Работа выполнена на основании анализа данных многолетних исследований различных источников загрязнения атмосферного воздуха. Часть данных была получена с личным участием авторов, часть — из отчетов соответствующих субъектов экологического мониторинга, а также из общедоступных источников (научные статьи, официальные данные Минприроды ЛНР и т. п.).

Выбор фильтров с целью отбора проб воздуха производился по специальным санитарно-гигиеническим методикам.

Результаты расчетов эффективности очистки выбросов от агломерационного производства были определены с помощью программы Microsoft Excel.

Изложение материала и его результаты.

1. Производство агломерата. Агломерация является процессом подготовки железорудного сырья для металлургического производства чугуна. Образование относи-

тельно крупных пористых кусков (агломератов) из мелкой руды или пылевидных материалов происходит благодаря спеканию, адгезии, холодной сварке, смачиванию жидкой фазой. Агломерационный цех предназначен для подготовки высококачественного сырья для доменного производства.

Агломерат — окускованный рудный концентрат, полученный в процессе агломерации. Это спекшаяся в куски мелкая (часто пылевидная) руда размерами 5–100 мм с незначительным содержанием мелочи.

Задачей агломерационного процесса является подготовка высококачественного сырья для доменного производства из смеси железорудных концентратов, аглоруд, колошниковой пыли, окалины и других железосодержащих материалов путём спекания их с соответствующим количеством флюса (обычный и доломитизированный известняк, известь) при использовании твёрдого топлива (коксовая мелочь, коксовый орешек, антрацитовый штыб) [2].

Руды делятся на богатые и бедные, причём богатой называется такая руда, для которой экономически оправдано непосредственное использование её в металлургической промышленности, например, в качестве сырья в доменной печи. Непосредственная выплавка металла из бедных руд нецелесообразна, так как для получения из них достаточно чистого металла придётся применять слишком дорогое его рафинирование. Дешевле обогатить руду. Для этого её дробят и по определённой технологии отделяют те частицы, в которых содержится много соединений металла. Например, железные руды часто подвергаются магнитной сепарации: богатые соединениями железа частицы руды отделяют от остальных магнитным полем. Но полученный концентрат имеет слишком мелкую фракцию, в печь его сыпать нельзя: его просто вынесет из печи потоком газа.

Поэтому концентрат спекают в аглошах, при этом легкосплавная часть смеси расплавляется и удерживает собой более твёрдые частицы. Для этого его смешива-

ют с порошкообразным коксом, заполняют полученной смесью аглочаши, поджигают смесь и сжигают содержащийся кокс, продувая смесь потоком атмосферного воздуха, втягиваемого через аглочащу вентилятором. В таких условиях кокс горит при более высокой температуре, чем в неподвижном воздухе, что и позволяет оплавливать частицы руды и спекать её в кусок. Полученный кусок снова дробят, но уже не так мелко, как перед обогащением.

2. Отбор проб. Самое большое количество загрязняющих веществ выделяется при спекании шихты в печах агломерационных машин. Каждая из шести агломашинок АМК обладает идентичными техническими характеристиками. Отбор проб воздуха выполнялся в зоне спекания агломашины № 5.

Пробы отбирались при помощи измерительного прибора Testo 340 для выявления концентрации газов, а также электроасpirатора для определения количества пыли в газозадушной смеси.

Комплекты измерительные Testo 340 используются для измерений климатических параметров: температуры, относительной влажности, скорости воздушного потока, абсолютного давления и разности давлений, уровня освещённости, концентрации монооксида (CO) и диоксида (CO₂) углерода, окислов азота (NO_x), сернистого ангидрида (SO₂) в атмосфере.

В частности, они подходят для измерений параметров комфортности с целью оценки рабочего места и для измерений отклонений от нормального режима в системах кондиционирования.

Принцип действия измерительных приборов Testo основан на преобразовании электрических сигналов, поступающих от аналоговых измерительных зондов, в цифровой сигнал и преобразовании цифрового сигнала в значения измеренных величин, отображаемых на экране.

Отбор проб производился аспиратором при пропускании воздуха через специальные фильтры с определенной скоростью.

Установка необходимой скорости прохождения воздуха регулируется путем вращения ручек вентилялей. Отсчет скорости осуществляется по шкалам (по верхнему краю поплавка) ротаметрических трубок, которые являются средствами измерения, подлежащими периодической поверке. Засасывание воздуха внутрь производится ротационной воздуходуховкой. Воздух, проходя через фильтры, оставляет на них содержащиеся в нем примеси. Определив количество примесей в фильтрах, можно определить количество примесей в единице объема воздуха.

Продолжительность отбора проб при определении разовых концентраций составляет 20–30 минут в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01.

4. Обработка результатов измерений.

Для определения эффективности мероприятий по очистке выбросов аглофабрики в окружающую среду необходимо найти приземные концентрации основных загрязняющих веществ непосредственно от этих выбросов и сравнить их с соответствующими предельно допустимыми значениями (ПДК).

Максимальное значение приземной концентрации загрязняющего вещества C_m , мг/м³, при выбросе нагретой смеси из одиночного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m , от источника и определяется по формуле [3]:

$$c_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

где A — безразмерный коэффициент, учитывающий температурную стратификацию атмосферы (для Луганщины коэффициент A равен 200);

M — масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;

F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере (для газов $F = 1$, для пыли значение F выбирается в соответствии с эффективностью пылеочистки ($\mathcal{E}_{оч}$):

– если $\mathcal{E}_{оч}$ не менее 90 %, то $F = 2$,

– если $\Xi_{оч}$ находится в пределах от 75 % до 90 %, то $F=2,5$,

– если $\Xi_{оч}$ менее 75 % и при отсутствии очистки, то $F=3$;

m и n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника;

η — безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;

H — высота источника выброса над уровнем земли, м;

V_1 — объемная скорость выбросов вредных веществ (расход), $V_1=6 \text{ м}^3/\text{с}$;

ΔT — разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего атмосферного воздуха.

Масса вредного вещества M находится по формуле:

$$M = \frac{C_{cp} \cdot Q_o}{1000}, \text{ г/с}, \quad (2)$$

где C_{cp} — средняя концентрация вредного вещества в зоне рабочего процесса (ДСП 173-96, 1996), находится по формуле (3):

$$C_{cp} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n}, \text{ мг/м}^3, \quad (3)$$

C_1-C_n — концентрации вредных веществ на момент измерения, которые находятся по формуле (4):

$$C = P_{TESTO} \cdot k, \text{ мг/м}^3, \quad (4)$$

P_{TESTO} — показатель измерительного прибора TESTO, ppm;

k — коэффициент пересчёта;

Q_o — объёмный расход газовой смеси, приведённый к нормальным условиям, находится по формуле (5):

$$Q_o = 2,695 \cdot v_{cp} \cdot S_p \cdot (p_a - p_c) / T_z, \quad (5)$$

где v_{cp} — средняя скорость движения пылегазовоздушной смеси, м/с ($=18,5 \text{ м/с}$);

S_p — диаметр измеряемого сечения, м^2 ($S_p=6,1544 \text{ м}^2$);

p_a — атмосферное давление, кПа ($p_a=98,775 \text{ кПа}$);

p_c — статичное давление, кПа ($p_c=5,210 \text{ кПа}$);

T_z — температура газовой смеси, $^\circ\text{C}$ ($T_z=101 \text{ }^\circ\text{C}$).

Данные для расчета по формулам (1–5) взяты из результатов измерений скорости, расхода газопылевого потока, выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в зоне спекания агломашины № 5 [4]. Результаты измерений параметров произведенных проб воздуха и последующего расчета концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы представлены в таблицах 1 и 2.

При оценке действия веществ на атмосферу используется понятие уровня загрязнения (кратности превышения ПДК). Еще этот показатель называют стандартным индексом (СИ). Кратность превышения ПДК — это отношение фактической концентрации C_i химического вещества в атмосферном воздухе к его $PДК_{м.р.}$ (взято максимально-разовое значение).

Анализ распределения загрязняющих веществ по стандартному индексу СИ (последние столбцы табл. 1–2) позволяют выделить взвешенные вещества как приоритетные, приводящие к наибольшему загрязнению атмосферного воздуха. Действующая система пылегазоочистки неспособна очищать газопылевой поток, выбрасываемый в атмосферу, в полном объеме. Необходимо внедрение дополнительных экологических мероприятий.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ (ЗВ) от агломерационного производства АМК

ЗВ	Q_o	Показания TESTO	Коэффициент пересчёта	Концентрация, мг/м^3	M , г/с	C_m , мг/м^3	$PДК_{м.р.}$, мг/м^3	СИ
NO_x	76,784	56,67	2,05	113,61	8,7234	0,0978	0,2	0,489
SO_2	76,784	118,67	2,86	344,471	26,4499	0,2965	0,5	0,593
CO	76,784	4288,70	1,25	5334,028	409,5680	4,592	5	0,918

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов выбросов в атмосферу пыли от агломерационного производства АМК

Пыль	Чистый фильтр	Рабочий фильтр	Привес	Расход смеси, г/м ³	М, г/с	С _м , мг/м ³	ПДК _{м.р.} , мг/м ³	СИ
На входе в фильтровальную систему	0,102	0,174	0,072	1,681	129,087	3,6179	0,5	7,236
На выходе из фильтровальной системы	0,102	0,125	0,023	0,294	409,568	0,644	0,5	1,288

Для определения путей уменьшения техногенного воздействия агломерационного производства предприятий черной металлургии предлагается использовать подход наилучших доступных технологий (НДТ), под которыми согласно Федеральному закону РФ от 21 июля 2014 года № 219-ФЗ понимается следующее: «НДТ — это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности её применения».

При выборе НДТ для достижения целей охраны окружающей среды выдвигаются следующие критерии:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объема производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги, либо другие предусмотренные международными договорами Российской Федерации показатели;
- экономическая эффективность ее внедрения и эксплуатации;
- применение ресурсосберегающих и энергосберегающих методов;
- промышленное внедрение технологии на двух или более объектах, которые оказывают негативное воздействие на природную среду.

В настоящее время для обеспечения возможностей использования подхода НДТ в практической деятельности подготавливают-

ся и издаются справочники НДТ — документы, целью составления которых является внедрение наилучших доступных технологий и установление соответствующих нормативов качества для конкретной отрасли.

В контексте решаемых нами задач наибольший интерес представляет справочник по НДТ черной металлургии [5], который содержит описание применяемых при производстве чугуна, стали и ферросплавов технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, повысить энергоэффективность, обеспечить ресурсосбережение на предприятиях.

В таблице 3 представлены технологии, выбранные из справочника НДТ черной металлургии [5] (раздел 5.2 «Наилучшие доступные технологии производства агломерата»), позволяющие снизить техногенную нагрузку на атмосферу.

Также в [5] приведен перечень оборудования агломерационных цехов для реализации НДТ (Приложение Б), сформированы перечень маркерных веществ (Приложение Г.1) и список технологических показателей производства (Приложение Г.2).

Надо отметить, что для агломерационного производства в перечень маркерных веществ отнесены пыль и оксид углерода, а технологические показатели, рассчитанные как отношение нормативно разрешенного годового объема (массы выбросов) загрязняющих веществ при конкретной технологии к годовому объему продукции, описываются неравенствами (табл. 4).

ЭКОЛОГИЯ

Таблица 3

Краткое описание наилучших доступных технологий, относящихся к разделу «Агломерация» черной металлургии

Код технологии	Содержание	Метод/оборудование
НДТ 5.2.1	Технология производства агломерата методом спекания на конвейерных машинах различной площади за счет фильтрации воздуха, обеспечивающего горение твердого топлива, распределенного в слое, с применением ресурсо- и энергоэффективных технических решений, процессов и методов ограничения негативного воздействия на окружающую среду, включающих одну или комбинацию технологий НДТ 5.2.2–5.2.7	
НДТ 5.2.2	Технологии, направленные на улучшение общих показателей производства агломерата, обеспечивающие сокращение потерь сырья, образование эмиссий в атмосферу и отходов	– стабильный состав поставляемых компонентов шихты; – известкование концентратов; – применение закрытых усреднительных складов сырья
НДТ 5.2.3	Оптимизация процесса спекания, сокращение потерь сырья и выбросов загрязняющих веществ за счет использования одного или комбинации двух и более методов	– укладка защитной постели; – обеспечение плавной работы агломашин с минимальными остановками; – работа с постоянной высотой спекаемого слоя и скоростью аглоленты; – оптимальный режим окомкования шихты (обеспечение надлежащей газопроницаемости слоя); – устранение бортовых прососов, например, применением «глухих» колосников; – поддержание уплотнений аглоленты и газоотводящего тракта в герметичном состоянии
НДТ 5.2.6	Технологии, направленные на снижение негативного воздействия на атмосферный воздух	
НДТ 5.2.6.1	Применение газоочистного оборудования для снижения выбросов пыли	– применение сухих циклонов, мультициклонов, усовершенствованных пылеуловителей сухого типа; – применение электрофильтров;
НДТ 5.2.6.3	Снижение вторичных выбросов пыли при дроблении и грохочении агломерата за счет применения решений:	– применение сухих циклонов, усовершенствованных пылеуловителей сухого типа; – организация укрытий и систем аспирации

Таблица 4

Технологические параметры для оценки приемлемости применяемых технологий

Показатель	Ограничение, кг/т
Азота диоксид	$\leq 0,4$ $\leq 0,75$ (при спекании железо-ванадиевого концентрата)
Азота оксид	$\leq 0,15$
Оксид углерода	≤ 14 ≤ 24 (при спекании железо-ванадиевого концентрата)
Диоксид серы	≤ 4
Пыль общая	$\leq 1,2$

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализируя технологии, которые в настоящее время применяются в агломерационном производстве на Алчевском металлургическом комбинате, и сопоставляя их со списком наилучших доступных технологий (табл. 3) с учетом результатов измерений и расчетов (табл. 1–2) можно выделить следующие технологии, как перспективные для внедрения в агломерационное производство на АМК:

- обеспечение плавной работы агломашин с минимальными остановками;
- применение сухих циклонов, мультициклонов, усовершенствованных пылеуловителей сухого типа;
- организация укрытий и систем аспирации;
- рециркуляция отходящих газов от агломашин при спекании;
- минимизация расхода твёрдого топлива на процесс спекания;
- применения систем обессеривания отходящих агломерационных газов посредством обработки потока газов известковым молоком (или иным доступным реагентом);
- применение интенсификаторов окомкования (например, фенольных вод);
- устранение вредных подсосов воздуха на агломашинах, в том числе торцевых, боковых, а также в неплотностях сборного коллектора отходящих газов.

В настоящее время активно развиваются системы комплексной очистки вредных

выбросов от пыли и газообразных соединений типа SO_x и NO_x . Технология E- SO_x основана на связывании оксидов серы тонко диспергированной водно-известковой суспензией с последующим высушиванием этой суспензии с использованием теплоты очищенных дымовых газов. Этот процесс включает в себя подачу и диспергирование известкового молока или содового раствора в газоходе перед электрофильтром или в небольшой камере, установленной между источником вредных выбросов и электрофильтром [5].

Стоимость капитальных вложений на реализацию процесса E- SO_x в 3,5 раза меньше традиционных мокрых и полусухих методов серо- и азотоочистки. Эксплуатационные затраты в десятки раз меньше и не зависят от концентрации загрязняющих веществ. Технология E- SO_x позволяет наряду с улавливанием оксидов серы улучшить работу электрофильтра. Это достигается охлаждением дымовых газов при высушивании капель суспензии и увеличением их влагосодержания.

Дальнейшие исследования будут направлены на расчет технологических показателей агломерационного производства Алчевского металлургического комбината в современных условиях для оценки применимости использования наилучших доступных технологий с целью улучшения экологических показателей предприятия.

Библиографический список

1. Капранов, С. В. Гигиенические основы мониторинга здоровья детского населения в условиях депрессивной социальной и техногенной экологической среды жизнедеятельности [Текст] : автореф. дис. ... д-ра мед. наук 14.02.01 / Капранов Сергей Владимирович. — Донецк, 2017. — 36 с.
2. Технологическая инструкция по производству офлюсованного доменного агломерата ТИ 229-ОА-030-45-2009 [Текст] / ОАО «Алчевский металлургический комбинат». — Алчевск, 2009.
3. ОНД-86. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sudact.ru/law/metodika-rascheta-kontsentratsii-v-atmosfernom-vozdukhe-vrednykh/>.
4. Результати вимірювань швидкості та витрати газопилового потоку. Результати вимірювання викидів забруднюючих речовин в атмосферу (зона спікання агломашини № 5) [Текст] / Відділ охорони навколишнього середовища ПАТ «Алчевський металургійний комбінат». — Алчевськ, 2016.

5. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 26-2017 «Производство чугуна, стали и ферросплавов» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293740/4293740349.pdf>.

© Золочевский С. П.

© Подлипенская Л. Е.

*Рекомендована к печати директором НЦМОС ДонГТИ Кусайко Н. П.,
д.м.н., и.о. гл. врача ГС «Алчевская городская СЭС» Капрановым С. В.*

Статья поступила в редакцию 11.10.22.

Zolochovsky S. P., Ph.D., Assoc. Podlipenskaya L. E. (DonSTI, Alchevsk, LPR)

**ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION CAUSED BY EMISSIONS FROM
THE SINTER SHOP OF A METALLURGICAL PLANT**

The technological process of sinter production at the ferrous metallurgy enterprise is considered. Features of air sampling within sintering machine zone at iron-and-steel plant using Testo 340 as a measuring device and an electric aspirator are described. Maximum values assessment for round-level concentration of pollutants in the atmosphere was made. Suspended solids are defined as priority ones, causing the biggest air pollution. To improve the environmental situation, it is proposed the approach of implementing the best available technologies for sinter production.

Key words: *air emissions, sinter production, sinter, sampling, standard air pollution index, best available technologies.*