

ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.064.4:658.567.3

**СОКРАЩЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ
ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ШЛАКА****Э.Б. Хоботова, проф., д.х.н., Ю.С. Калмыкова, ассист., к.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

Аннотация. Представлены расчеты уровня приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе возле шлакового отвала доменного шлака ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича».

Ключевые слова: отвальный доменный шлак, окружающая среда, загрязнение атмосферного воздуха, утилизация, оценка экологической эффективности.

**СКОРОЧЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ
ШЛАКУ****Е.Б. Хоботова, проф., д.х.н., Ю.С. Калмыкова, ассист., к.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

Анотація. Подано розрахунки рівня приземних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі біля шлакового відвалу доменного шлаку ПАТ «Мариупольський металургійний комбінат імені Ілліча».

Ключові слова: відвальний доменний шлак, навколишнє середовище, забруднення атмосферного повітря, утилізація, оцінка екологічної ефективності.

REDUCTION OF ENVIRONMENTAL RISK IN RECYCLING OF SLAG**Ye. Khobotova, Prof., Ph. D. (Eng.), Yu. Kalmykova, Ph. D. (Eng.), T. Asst.,
Kharkiv National Automobile and Highway University,**

Abstract. The article presents the calculation of the level of surface concentrations of pollutants in the ambient air near the blast furnace slag dump of Company limited «Mariupol Metdllurgical Plant».

Key words: dump blast furnace slag, environment, air pollution, recycling, assessment of environmental efficiency.

Введение

По мере развития промышленности увеличивается количество доменных шлаков. Научные исследования и опыт показали, что шлаки могут стать неиссякаемым источником дешевого сырья, в частности, для строительной индустрии. Это особенно актуально при расширении сырьевой базы стройиндустрии за счет роста добычи природных минеральных ресурсов. Стратегической целью должен

быть переход на малоотходные технологии, вовлечение в производство многотоннажных техногенных экологически чистых и радиационно безопасных отходов и рециклируемых материалов.

Анализ публикаций

Вопрос об использовании шлаков черной металлургии имеет большую историю. Известны многочисленные примеры использо-

вания металлургических шлаков в XIX и даже XVIII вв. С развитием техники в этой области открывались новые пути и возможности. По словам академика И.П. Бардина, шлаки – это вовсе не отходы, как было принято считать в течение столетий и как по инерции считают и сейчас нерадивые хозяйственники. Вопросы переработки шлаков в отдельные виды продукции рассматриваются в работах П.П. Будникова, И.А. Значко-Яворского [1], Г.Л. Луганова [2], Н.А. Сперантова и А.В. Тысского [3].

Имеются все необходимые предпосылки для превращения шлаков черной металлургии из бросовых отходов в ценное сырье для народного хозяйства [4]. Шлаки – это база для дальнейшего строительства. Из доменных шлаков можно получить щебень, шлаковую пемзу, вяжущие вещества и элементы строительных конструкций. Шлакоперерабатывающие предприятия необходимо включать в единый технологический комплекс металлургических заводов.

Цель и постановка задачи

Важнейшими вопросами использования шлаков черной металлургии являются улучшение экономических показателей процессов шлакопереработки и выбор рациональной продукции и технологических процессов, обеспечивающих максимальное повышение эффективности всего металлургического производства в конкретных экономических условиях.

Целью работы является проведение расчетов уровня приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе возле шлакового отвала ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича».

Оценка экологической эффективности утилизации шлака и расчет уровня приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе

Экологическая эффективность от использования отвальных доменных шлаков в строительной отрасли достигается за счет освобождения земельных площадей под шлакоотвалы и, таким образом, недопущения загрязнения окружающей среды (ОС). Расчет экологического эффекта проводился согласно методикам [5] для ПАО «Мариупольский металлургический комбинат имени Ильича».

Расчетная величина утилизованного шлака принята на уровне 25 т/час. При непрерывном режиме производства стали годовая масса шлака, в складировании которого отпадет надобность, составит

$$M = 30 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 10^3 = 2,628 \cdot 10^8 \text{ кг/год.}$$

При плотности шлака $\rho = 2,5 \text{ г/см}^3 = 2500 \text{ кг/м}^3$ [5] его годовой объем составит

$$V = 1,05 \cdot 10^5 \text{ м}^3.$$

При толщине слоя шлака при его укладке на уровне $H = 0,3 \text{ м}$ интегральная площадь шлакоотвала составила бы

$$F = \frac{V}{H} = \frac{1,05 \cdot 10^5}{0,5} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ м}^2.$$

Игнорируя загрязнение воздуха при разгрузке шлака как незначительное, секундная масса выброса вредных веществ (в данном случае пыли), образовавшаяся от шлакоотвала при отсутствии пылеуловителей, рассчитывается по формуле [5]

$$M_c = 0,11 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot q \cdot F,$$

где M_c – удельный выброс вредного вещества (пыли) в процессе хранения материала, г/с; F – поверхность пыления в плане (т.е. проекция на горизонтальную плоскость), м^2 ; 0,11 – коэффициент, учитывающий местные метеосостояния; K_4 – коэффициент, учитывающий местные условия, степень защищенности узла от внешних воздействий, условия пылеобразования; K_5 – коэффициент, учитывающий влажность материала; K_6 – коэффициент, учитывающий профиль поверхности складированного материала, определяется как отношение фактической площади (с учетом неравномерности засыпки по вертикали) к площади F ; K_7 – коэффициент, учитывающий крупность материала; Q – максимальная удельная сдуваемость пыли, $\text{г/м}^2 \cdot \text{с}$.

Исходя из предположения о равномерном распределении шлака, принимаем $K_6 = 1$. Секундный выброс пыли рассчитывался для условий, соответствующих наихудшей экологической ситуации. Поэтому в качестве скорости ветра была выбрана скорость, соответствующая 5 % обеспеченности.

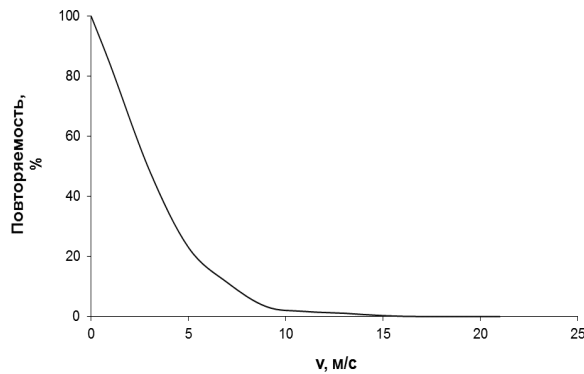


Рис. 1. Кривая обеспеченности скорости ветра

В табл. 1 приведены данные по повторяемости скорости ветра различных градаций за год [6]. На рис. 1 представлена кривая обеспеченности, построенная по данным табл. 1. Как видно из рис. 1, уровню 5 % обеспеченности приблизительно соответствует скорость ветра $v = 8,5$ м/с. Остальные коэффициенты – это табличные значения, равные [5]

$$K_4 = K_5 = 1; K_7 = 0,5.$$

Максимальная удельная сдуваемость пыли подчинена закону [1]

$$q = a \cdot v^b, \text{ г/м}^2 \cdot \text{с},$$

где a и b – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа перегружаемого материала. Согласно [5] эмпирические коэффициенты для материала, близкого по свойствам к шлаку, равны: $a = 0,0135$; $b = 2,987$. Подставляя скорость ветра и параметры зависимости, получаем значение удельной сдуваемости

$$q = 0,0135 \cdot 8,5^{2,984} = 8,06 = 0,00806 \text{ г/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Таблица 1 Повторяемость различных градаций скорости ветра в районе г. Мариуполя

Диапазон скорости ветра, м/с	Повторяемость, %
0–1	16,5
2–3	34,9
4–5	25,6
6–7	11,7
8–9	8
10–11	1,6
12–13	0,6
14–15	0,8
16–17	0,3
> 17	0

В итоге секундная масса выброса вредных веществ равна

$$\begin{aligned} M_c &= 0,11 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,00806 \cdot 5,84 \cdot 10^4 = \\ &= 25,9 \text{ г/с}. \end{aligned}$$

Расчет годового выброса пыли с территории площадью F проводился для среднегодовой скорости с учетом выпадения осадков

$$\begin{aligned} M_F &= 0,11 \cdot 8,64 \cdot 10^{-2} \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \times \\ &\times q \cdot F \cdot (T - T_c - T_d), \text{ т/год}, \end{aligned}$$

где T – общее время хранения материала за рассматриваемый период в сутках; T_c – число дней с устойчивым снежным покровом; T_d – число дней с дождем.

Количество дней с устойчивым снежным покровом для района Мариуполя можно принять $T_c = 0$. Количество дождливых дней вычисляется по формуле [6]

$$T_d = \frac{2 \cdot T_q}{24},$$

где T_q – суммарная продолжительность осадков в виде дождя за рассматриваемый период в часах.

Среднегодовая скорость ветра составляет 3,9 м/с. Подставляя данное значение, получаем значение удельной сдуваемости пыли при средней скорости ветра

$$q = 0,0135 \cdot 3,9^{2,984} = 0,8 = 0,0008 \text{ г/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Согласно справочным данным [3] в Донецкой области продолжительность осадков в виде дождя составляет $T_q = 1000$ ч. С учетом величины T_q годовой выброс пыли составит

$$\begin{aligned} M_F &= 0,11 \cdot 8,64 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 0,0008 \cdot 5,84 \cdot 10^4 \times \\ &\times \left(365 - 0 - \frac{2 \cdot 1000}{24} \right) = 61,5 \text{ т/год}. \end{aligned}$$

Однако если предполагать «чистый эксперимент», т.е. исключать факторы, не рассматриваемые в данной задаче, то площадь шлакоотвала достигнет величины F к концу года, а до этого момента выброс пыли будет меньше. В силу линейной зависимости выброса от площади источника, оценочная го-

довая масса предотвращенного выброса пыли составит

$$M_{\text{год}} = \frac{M_F}{2} = \frac{61,5}{2} = 30,75 \text{ т / год.}$$

Экологическая эффективность от утилизации шлака достигается за счет ликвидации шлаковых отвалов, освобождения земельных площадей и, таким образом, снижения загрязнения ОС. Для условий предприятия ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» утилизация шлака на уровне 25 т/ч приводит к сокращению выбросов пыли (веществ в виде взвешенных твердых частиц, недифференцированных по составу) в атмосферный воздух на 30,75 т.

Накопление отвальных доменных шлаков в отвалах сопровождается негативным влиянием на атмосферный воздух. Расчеты уровня приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе проводились с использованием программного комплекса «ПЛЕНЭР-1.25», основанного на методике ОНД-86 [7]. Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере города Мариуполь, представлены в табл. 2.

Таблица 2 Метеорологические характеристики, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере г. Мариуполь

Наименование характеристик	Величина
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы, A	200
Коэффициент рельефа в городе	1
Средняя максимальная температура наружного воздуха наиболее жаркого месяца, $T_{\text{л}}, ^\circ\text{C}$	26,8
Средняя температура наружного воздуха наиболее холодного месяца, $T_{\text{х}}, ^\circ\text{C}$	-7,1
Среднегодовая роза ветров, %	
С	10,7
СВ	9,1
В	8,2
ЮВ	7,3
Ю	8,5
ЮЗ	12,0
З	17,7
СЗ	26,5
Скорость ветра U^* (по средним данным), повторяемость превышений которой составляет 5 %, м/с	13,0

Расчеты производились при средневзвешенных опасных скоростях ветра $U_{\text{оп}}, 0,5 U_{\text{оп}}, 1,5 U_{\text{оп}}, 0,5 \text{ м/с}, 4,0 \text{ м/с}$. Перебор направлений ветра осуществлялся с шагом, равным 5 градусов.

Поля максимальных концентраций рассчитывались для:

- территории, представленной в виде расчетного прямоугольника 2000 м x 2000 м, с шагом 100 м вдоль осей X и Y ;
- 4 точек на расстоянии 500 м от центра отвала;
- 4 точек на расстоянии 750 м от центра отвала;
- 4 точек на расстоянии 1000 м от центра отвала.

Целесообразность проведения расчетов рассеивания атмосферного воздуха для всех выбрасываемых предприятием загрязняющих веществ, согласно ОНД-86, определяется выполнением неравенств

$$\frac{M}{\text{ПДК}} > \Phi,$$

где $\Phi=0,01H$ при $H>10$ м; $\Phi=0,1$ при $H\leq 10$ м; M – суммарное значение выброса от всех источников предприятия, соответствующее наиболее неблагоприятным из установленных условий выброса, включая вентиляционные источники и неорганизованные выбросы, г/с; ПДК – максимальная разовая предельно допустимая концентрация, мг/м³; H – средневзвешенная по предприятию высота источников выброса, м; H для i -го вещества определяется по формуле

$$H = \frac{5M_{(0-10)} + 15M_{(11-20)} + 25M_{(21-30)} + \dots}{M},$$

$$M = M_{(0-10)} + M_{(11-20)} + M_{(21-30)} + \dots$$

Если все источники предприятия являются низкими или наземными, т.е. высота выброса не превышает 10 м, то H принимается равной 5 м.

Анализ результатов расчета загрязненности атмосферного воздуха показал, что приземные концентрации за пределами шлакового отвала превышают санитарные нормы:

- на расстоянии 500 м от центра отвала значение максимальной приземной концентра-

ции по взвешенным веществам составляет: в восточном, северном и западном направлениях – 6,04 ПДК; в южном – 3,79 ПДК; – на расстоянии 750 м от центра отвала значение максимальной приземной концентрации по взвешенным веществам составляет: в восточном и западном направлениях – 3,31 ПДК; в южном и северном – 2,16 ПДК; – на расстоянии 1000 м от центра отвала значение максимальной приземной концентрации по взвешенным веществам составляет: в восточном и западном направлениях – 2,25 ПДК; в южном и северном – 1,38 ПДК.

На основании проведенного расчета загрязненности атмосферного воздуха можно сделать выводы, что утилизация шлаков позволяет сократить выбросы взвешенных веществ в атмосферный воздух, уменьшить их приземные концентрации за пределами шлакового отвала на (1,38–6,04) ПДК (в зависимости от отдаления от источников выбросов). Это способствует сокращению уровня экологической опасности при складировании шлаков в отвалах.

Выводы

Экологическая эффективность от утилизации шлака достигается за счет ликвидации шлаковых отвалов и освобождения земельных площадей. Таким образом, не происходит загрязнение ОС. Для условий предприятия ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» утилизация шлака на уровне 25 т/ч позволяет:

– сократить выбросы пыли (веществ в виде взвешенных твердых частиц, недифференцированных по составу) в атмосферный воздух на 30,75 т;

– снизить приземные концентрации пыли за пределами шлакового отвала максимально на 6,04 ПДК, предотвращая при этом превышение санитарных норм.

Литература

1. Будников П.П. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы / П.П. Будников, И.Л. Значко-Яворский; под общ. ред. Ю.М. Бута. – М.: Промстройиздат, 1953. – 224 с.
2. Лагунов Г.Л. Свойства и технология шлаковых строительных материалов / Л.Г. Лагунов. – М.: Промстройиздат, 1949. – 392 с.
3. Сперантов Н.А. Шлаковая вата / Н.А. Сперантов, А.В. Тысский; под ред. К.Э. Горяйнова. – М.: Металлургиздат, 1953. – 192 с.
4. Довгопол В.И. Экономика использования металлургических шлаков / В.И. Довгопол. – М.: Металлургия, 1964. – 110 с.
5. Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов // http://www.infosait.ru/norma_doc/54/54301/index.htm.
6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: многолетние данные. Выпуск 10. Украинская ССР. Книга 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 608 с.
7. ОНД–86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987.

Рецензент: Н.В. Внукова, профессор, д.т.н., ХНАДУ.