

УДК 669.184.15

А.М. ПАВЛЮЧЕНКО, младший научный сотрудник,**А.В. ФАДЕЕВ**, младший научный сотрудник, **Н.Ю. КРЮКОВА**, инженер

Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ С ПОМОЩЬЮ ВИДЕОСЪЕМКИ

Описана методика определения объемов неорганизованных выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух с помощью видеосъемки и приведен пошаговый алгоритм ее применения на примере процесса выпечки рельсовой стали на установке ковш-печь кислородно-конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь».

Ключевые слова: неорганизованные выбросы, видеосъемка, инструментальные методы, аналитические методы, установка ковш-печь.

При проектировании аспирационных систем одной из основных задач является выбор параметров оборудования, которое должно обеспечить эффективное удаление загрязняющих веществ из рабочей зоны. Для решения этой задачи необходимо знание объемов неорганизованных выбросов.

В настоящее время для определения количественных характеристик выбросов используют инструментальные и расчетно-аналитические методы.

Инструментальные методы применяют только для источников с организованным выбросом загрязняющих веществ в атмосферу, так как в случае неорганизованных выбросов опасные производственные факторы – повышенная температура, загазованность, труднодоступность мест проведения замеров и другие – создают угрозу для жизни и здоровья персонала, проводящего исследования.

Расчетные методы предполагают построение математической модели, описывающей процесс образования и перемещения (рассредоточения) неорганизованных выбросов в течение какой-либо технологической операции. Однако вследствие большого разнообразия эксплуатируемого технологического оборудования, режимов его работы, а также разного технического состояния требуется создание множества математических моделей для каждого отдельного случая образования и удаления неорганизованных выбросов, что является весьма трудоемким мероприятием.

Для исключения недостатков описанных методов и обеспечения стопроцентной безопасности технического персонала была разработана универсальная методика «Определение объемов неорганизованных выбросов с помощью видеосъемки», подходящая для любых

производственных условий. В ее основу легла методика «Определение объемов неорганизованных выбросов с помощью киносъемки» [1].

Доработанная и усовершенствованная методика имеет следующие отличительные особенности:

- Видеосъемка производится с двух взаимно перпендикулярных ракурсов (точек), что дает возможность более точного определения скорости в факеле выбросов.
- Скорость потока неорганизованных выбросов определяется по всему сечению его столба, который визуально разбивается на участки с одинаковой скоростью частиц.
- Масштаб видеосъемки устанавливается при помощи выполнения условия нахождения на равноудаленном расстоянии от объектива камеры источника выбросов и объекта с известными размерами.
- Использование современного компьютерного видеоредактора VirtualDubMod1.5.10.2 дает возможность сравнивать кадры, следующие менее чем через 0,035 с. Применение камеры, поддерживающей высокое разрешение, повышает точность определения скорости при покадровом смещении потока.

Использование для измерения линейных размеров потока и координат характерных точек электронной линейки снижает погрешность отсчета фактически до нуля. Уменьшение межкадровых интервалов (по сравнению с киносъемкой) приводит к снижению погрешности измерения времени. Таким образом, точность определения объемов неорганизованных выбросов по данной методике выше, чем по предыдущему аналогу.



При разработке новой методики основной задачей являлось определение средней скорости потока неорганизованных выбросов по смещению на кадрах участков этого потока, выделяющихся своей формой или окраской. Для поэтапного решения этой задачи необходимо:

1. Провести видеосъемку процесса образования и движения потока неорганизованных выбросов одновременно с двух взаимно перпендикулярных ракурсов (камерой, неподвижно закрепленной на штативе или установленной на ровную поверхность), что позволяет уменьшить погрешность результата, возникающую из-за искажения с течением времени угла раскрытия факела выбросов в трехмерном пространстве вследствие воздействия различных внешних факторов (уменьшения интенсификации технологического процесса, изменения направления и силы ветра, перемещения местных воздушных масс и др.) [2].

2. Загрузить видеозапись на компьютер с помощью видеоредактора VirtualDubMod1.5.10.2. Промежуток времени между кадрами рекомендуется выбирать в диапазоне 0,035–0,5 с. Продолжительность видеосъемки определяется длительностью пылевыделения и может варьироваться от нескольких секунд до интервала, фиксирующего весь процесс пылегазообразования, при этом важно, чтобы она была как минимум в 50 раз больше межкадрового промежутка времени (Δt).

3. Определить масштаб видеосъемки как частное от деления известного натурального размера объекта на соответствующий размер его изображения на мониторе компьютера (для более точного определения масштаба съемки все размеры объектов на мониторе измеряются в пикселях, pix). В целях снижения отрицательного влияния так называемого эффекта параллакса на точность дальнейших расчетов эталоном должен служить объект, который находится примерно на одной линии с источником выбросов. При смене ракурса для определения масштаба необходимо выбрать новый объект с известным размером и расположением относительно источника выбросов, удовлетворяющим указанному условию.

4. Визуально разбить вертикальными прямыми сечение факела выбросов на отдельные участки, которых должно быть не менее трех. Если заметно, что поток по ширине какого-либо участка факела нестационарен, необходимо увеличить количество таких участков. Скорость потока по ширине выбранного участка должна быть примерно одинакова. Из условий конвективного теплообмена известно, что скорость в центре восходящего потока существенно больше, чем по его краям (из-за разницы температур) [3]. Следовательно, с ростом числа участков повышается точность определения средней скорости потока выбросов.

5. Зафиксировать в кадре первоначальное положение точки (участка факела выброса, выделяющегося на общем фоне цветом или яркостью) и обозначить его координатой H_i , которая характеризует высоту данного участка потока на i -м кадре. В следующем кадре необходимо определить новое местоположение того же участка выбросов и обозначить его относительно предыдущего кадра H_{i+1} . Разность координат по высоте $H_{i+1} - H_i$ равна расстоянию, которое преодолел выделяющийся сегмент за межкадровый промежуток времени Δt . Измеряем расстояние $H_{i+1} - H_i$ на мониторе электронной линейкой Screen Ruler и умножаем его на определенный нами масштаб M (см. п. 3), чтобы получить реальное значение этого параметра. Для определения реальной скорости необходимо произведение $M \cdot (H_{i+1} - H_i)$ разделить на установленный нами межкадровый промежуток времени Δt .

6. Формула для расчета скорости на i -м участке имеет вид

$$V_i = \frac{M \cdot (H_{i+1} - H_i)}{\Delta t}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где M – масштаб съемки, определяемый как отношение известного размера натуре к размеру того же объекта на экране монитора, m/pix ;

H_{i+1} , H_i – высота расположения выделяющегося участка потока выбросов на $i+1$ -м и i -м изображениях съемки соответственно, pix ;

Δt – промежуток времени между $i+1$ -м и i -м изображениями съемки, который устанавливается при ее просмотре в компьютерной программе VirtualDubMod1.5.10.2, с.

Аналогичные расчеты необходимо проделать для всех участков, на которые разбит факел неорганизованных выбросов, после чего найти среднюю скорость потока выбросов по всему сечению факела:

$$V_{cp} = (V_1 + V_2 + \dots + V_i) / n, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где V_1 , V_2 , V_i – средние скорости потока выбросов на 1, 2 и i -м вертикальных участках факела выбросов, м/с ;

n – количество вертикальных участков факела выбросов.

Как показал анализ многочисленных съемок различных объектов пылевыделений, линейные размеры факела выбросов меньше линейных размеров емкости, которая заполняется жидким металлом, при этом средний линейный размер факела выбросов составляет 0,95–0,99 линейных размеров заполненной емкости (к примеру, ковша). Площадь F горизонтального сечения факела выбросов цилиндрической формы определяется по формуле

$$F = 0,25\pi \cdot (0,99 \cdot D_k)^2, \text{ м}^2, \quad (3)$$

где D_k – диаметр заполненной емкости, м.

При прямоугольной форме факела выбросов общая площадь его сечения равна

$$F = 0,99 \cdot H \cdot L, \text{ м}^2, \quad (4)$$

где H – расстояние по ширине заполненной емкости, м;

L – расстояние по длине заполненной емкости, м.

Если же при технологической операции наблюдается выбивание газопылевого потока из отверстий (в основном в электросталеплавильном производстве), то следует площадь сечения этого отверстия (круглого или прямоугольного) умножить на коэффициент 1,2, полученный на основе экспериментальных данных. Этот коэффициент определяет расширение факела выбросов после выхода из отверстия.

Площадь сечения факела выбросов при круглой форме отверстия, из которого происходит выбивание пылегазовых выбросов, находим по формуле

$$F = 0,25\pi \cdot (1,2 \cdot D_k)^2, \text{ м}^2. \quad (5)$$

При прямоугольной форме отверстия формула имеет вид

$$F = 1,2 \cdot H \cdot L, \text{ м}^2. \quad (6)$$

Максимальный расход выбросов Q_{\max} в факеле цилиндрической формы равен

$$Q_{\max} = 0,25 \cdot V_{\text{cp}} \cdot \pi \cdot (0,99 \cdot D_k)^2, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7)$$

где V_{cp} – средняя скорость неорганизованных выбросов по всему сечению факела, м/с.

Максимальный расход в факеле выбросов из емкости прямоугольной формы

$$Q_{\max} = 0,99 \cdot V_{\text{cp}} \cdot H \cdot L, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (8)$$

Максимальный расход в факеле выбросов при технологических операциях, в ходе которых наблюдается выбивание газа из круглых отверстий, составляет

$$Q_{\max} = 0,25 \cdot V_{\text{cp}} \cdot \pi \cdot (1,2 \cdot D_k)^2, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (9)$$

При выбивании газа из прямоугольных отверстий максимальный расход в факеле выбросов

$$Q_{\max} = 1,22 \cdot V_{\text{cp}} \cdot H \cdot L, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (10)$$

Алгоритм практического применения настоящей методики изложим на примере процесса обработки рельсовой стали в двухпозиционной установке ковш-печь (УКП) № 1 кислородно-конвертерного цеха ПАО «МК «Азовсталь». Общий вид УКП № 1 с обозначением ее основных узлов показан на рис. 1.

Необходимо определить объем неорганизованных выбросов от установки УКП № 1 в процессе выплавки рельсовой стали при условии, что их образование происходит при опущенном электродном портале 1 в отверстия водоохлаждаемой крышки 7. Никаких других технологических операций в это время не проводится.

Примем диаметр электродного отверстия равным 800 мм, а диаметр электрода – 500 мм. Установим межкадровый промежуток времени $\Delta t = 0,25$ с.

Рассмотрим два последовательно идущих кадра видеосъемки процесса выделения неорганизованных выбросов при выплавке рельсовой стали (рис. 2).

На i -м кадре определяем три различимые на общем фоне точки – T_1 , T_2 и T_3 – и фиксируем их положение на этом кадре с помощью координаты H_i . На следующем ($i+1$ -м) кадре находим новое положение (H_{i+1}) для каждой из выбранных точек. Теперь замерим расстояние между

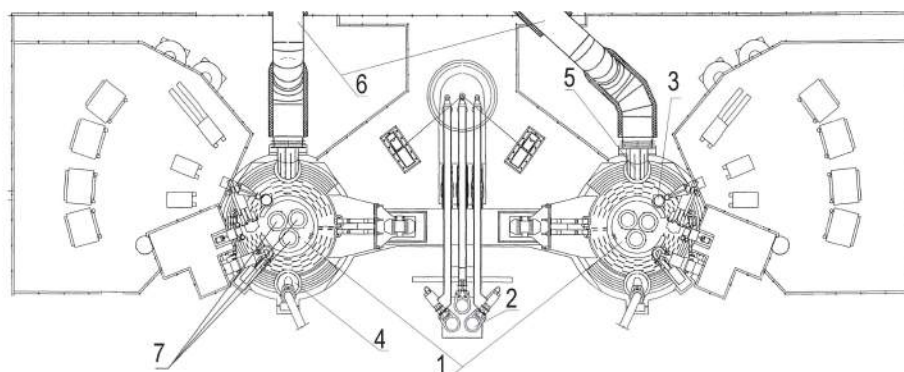
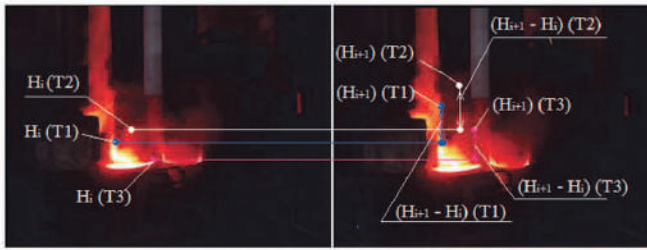


Рисунок 1 – Общий вид УКП № 1:

1 – крышки с водоохлаждаемым сводом; 2 – электродный портал; 3 – приемная воронка трайб-аппарата; 4 – приемная воронка сыпучих; 5 – отсос крышки ковша $\varnothing 800$ мм; 6 – газоходы; 7 – электродные отверстия водоохлаждаемой крышки



i-й кадр **i+1-й кадр**
Рисунок 2 – Перемещение выделенного сегмента в факеле неорганизованных выбросов

начальным (Н) и конечным (Н_{i+1}) положениями точек Т1, Т2 и Т3 электронной линейкой Screen Ruler на мониторе компьютера. Это расстояние для Т1 равно 39 pix, для Т2 – 55 pix и для Т3 – 30 pix.

Чтобы найти реальное расстояние, пройденное точками Т1, Т2 и Т3, необходимо определить масштаб видеосъемки. Для этого замерим диаметр электрода, реальный размер которого составляет 500 мм, на мониторе. Получим 33 pix. Следовательно, масштаб видеосъемки $M = 500/33 = 15,2$ (мм/pix).

По формуле (1) определим скорости точек Т1, Т2, Т3: $V_{Т1} = 2,4$ м/с; $V_{Т2} = 3,34$ м/с; $V_{Т3} = 2$ м/с. Средняя скорость потока неорганизованных выбросов составит 2,58 м/с.

Найдем площадь сечения факела неорганизованных выбросов. Так как при опущенных электродах происходит заметное выбивание пылегазового потока, в этом случае необходимо воспользоваться формулой (9). Площадь сечения факела выбросов из одного отверстия равна

$$F = 0,25\pi \cdot (1,2 \cdot D_e)^2 = 0,72, \text{ м}^2.$$

Всего таких отверстий три. Следовательно, общая площадь сечения факела выбросов $0,72 \cdot 3 = 2,2$ (м²). Максимальный объем неорганизованных выбросов при выплавке рельсовой стали на УКП №1 ККЦ ПАО «МК «Азовсталь» составит

Описано методику визначення обсягів неорганізованих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря за допомогою відеозйомки і приведено покроковий алгоритм її застосування на прикладі процесу позапічної обробки рейкової сталі на установці ківш-під киснево-конвертерного цеху ПАТ «МК «Азовсталь».

$$Q_{\text{max}} = V_{\text{cp}} \cdot F = 2,2 \cdot 2,58 = 5,67 \text{ (м}^3/\text{с)} = 20433,6 \text{ (м}^3/\text{час)}.$$

ВЫВОДЫ

1. ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» создана методика определения объемов неорганизованных выбросов с помощью видеосъемки и получено свидетельство о регистрации авторского права на нее.

2. Данная методика была успешно апробирована в ряде работ. Приведен пошаговый алгоритм ее применения на примере процесса выплавки рельсовой стали на установке ковш-печь № 1 ККЦ ПАО «МК «Азовсталь».

3. Методика «Определение объемов неорганизованных выбросов с помощью видеосъемки» позволяет эффективно обследовать объекты, недоступные для инструментального контроля, и может успешно применяться для предпроектных разработок при создании новых или реконструкции существующих систем газоудаления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Доценко А. М.** Пылегазовые выбросы миксерных отделений металлургических заводов и разработка эффективной системы их отвода и очистки / А. М. Доценко : дисс. ... канд. техн. наук ; 05.16.02 / МИСИС. – М., 1982. – 240 с.
2. Рекомендации по подавлению, отводу и очистке газов от графитсодержащей пыли миксерных отделений сталеплавильных цехов / А. В. Ерохин. – Харьков : ВНИПИЧерметэнергоочистка, 1986. – 18 с. (Арх. № 0904).
3. Очистка технологических и неорганизованных газов от пыли в черной металлургии / А. И. Толочко, О. В. Филиппев, В. И. Славин, В. С. Гурьев. – М. : Металлургия, 1986. – 208 с.

Поступила в редакцию 02.04.2014

One be described method of definition of non-organized contaminant emission volumes at atmosphere using video filming and one be provided step-by-step algorithm of its application by example of out-of-furnace processing of rail steel in ladle-furnace of LD plant at "МК "AZOVSTAL".