

<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-132-136>  
УДК 621.74:658.382

Поступила 14.11.2022  
Received 14.11.2022

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ РАБОЧИХ ЗОН ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

А. М. ЛАЗАРЕНКОВ, М. А. САДОХА, Т. П. КОТ, А. А. НОВИК, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65. E-mail: [cadoxa@rambler.ru](mailto:cadoxa@rambler.ru)

*Содержание вредных веществ в воздушной среде является важным параметром условий труда литейщиков. Из-за особенности технологии в литейном цеху имеется много источников интенсивного пылевыведения. Распределение концентраций пыли в атмосфере цехов определяли из уравнения баланса пыли в помещении цеха. Показана возможность получения расчетным путем объективной картины распределения запыленности на различных участках литейных цехов. Для определения плотности и доли частиц пыли на различных участках литейных цехов использовали данные исследований. Результаты проведенных теоретических расчетов показывают, что в литейных цехах эффективным средством уменьшения запыленности воздуха рабочих зон является улавливание пыли.*

**Ключевые слова.** Вредные вещества, связующие, воздух рабочей зоны, содержание вредного вещества, меры безопасности.  
**Для цитирования.** Лазаренков, А. М. Методика оценки запыленности воздушной среды рабочих зон литейных цехов / А. М. Лазаренков, М. А. Садоха, Т. П. Кот, А. А. Новик // *Литье и металлургия*. 2022. № 4. С. 132–136. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-132-136>.

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE DUSTINESS OF THE AIR ENVIRONMENT OF THE WORKING AREAS OF FOUNDRIES

A. M. LAZARENKOV, M. A. SADOKHA, T. P. KOT, A. A. NOVIK, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: [cadoxa@rambler.ru](mailto:cadoxa@rambler.ru)

*The content of harmful substances in the air is an important parameter of the working conditions of foundry workers. Due to the peculiarities of the technology, there are many sources of intense dust emission in the foundry. The distribution of dust concentrations in the atmosphere of the workshops was determined from the equation of the dust balance in the workshop room. The possibility of obtaining by calculation an objective picture of the distribution of dust in various sections of foundries is shown. Data from various studies were used to determine the density and dust at various sites of foundries. The results of the theoretical calculations show that in foundries, dust capture is an effective means of reducing the dustiness of the air of working areas.*

**Keywords.** Harmful substances, binders, working area air, harmful substance content, safety measures.  
**For citation.** Lazarenkov A. M., Sadokha M. A., Kot T. P., Novik A. A. Methodology for assessing the dustiness of the air environment of the working areas of foundries. *Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 4, pp. 132–136. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2022-4-132-136>.

Одним из основных параметров условий труда работающих в литейных цехах является содержание вредных веществ в воздушной среде, входящих в комплекс производственных факторов и оказывающих влияние на состояние условий труда литейщиков и их организм.

Широкое использование в литейных цехах сыпучих материалов (песков, глин и др.) приводит к выделению в воздушную среду пыли. Основным способом литья по-прежнему остается литье в песчаные формы. Технологические процессы по переработке формовочных масс связаны с многократными транспортными операциями песчаных масс (перегрузка, загрузка, выгрузка, транспортирование и т. п.). При этом основным внутрицеховым видом транспорта является конвейер как наиболее экономичный и удобный в эксплуатации. В то же время процессы переработки сыпучих масс с использованием конвейерных линий – это интенсивные источники пылевыведения. Одной из распространенных причин истечения запыленных потоков из полостей технологического оборудования и укрытий является возникновение в них избыточных давлений, что приводит к высокой запыленности помещений участков литейных цехов.

Вследствие значительной подвижности воздуха на участках литейных цехов распределение концентраций пыли в атмосфере цехов можно считать равномерным. Это подтверждается имеющимися

исследованиями [1–4]. Тогда концентрация пыли в воздушной среде определяется из уравнения баланса пыли в помещении цеха (рис. 1):

$$V \frac{dC}{dt} = L_{\text{пр}} C_{\text{пр}} + (G_1 + G_2 + \dots + G_n) - L_{\text{yx}} C_{\text{yx}} - L_{\text{в}} C_{\text{в}} - K v_s V C, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация пыли в воздушной среде помещения в момент времени  $t$ , мг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{пр}}$  – концентрация пыли в приточном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{yx}}$  – концентрация пыли в уходящем из цеха воздухе за счет естественной вентиляции, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{в}}$  – концентрация пыли в воздухе, удаляемом вытяжной вентиляцией, мг/м<sup>3</sup>;

$L_{\text{пр}}$  – объем приточного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$L_{\text{yx}}$  – объем уходящего воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$L_{\text{в}}$  – объем воздуха, удаляемого от местного отсоса вытяжной системой м<sup>3</sup>/ч;

$G_1, G_2, \dots, G_n$  – интенсивность источников пылевыделения в цехе, мг/ч;

$K$  – коэффициент седиментации пыли, 1/м;

$v_s$  – скорость витания частиц пыли;

$V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

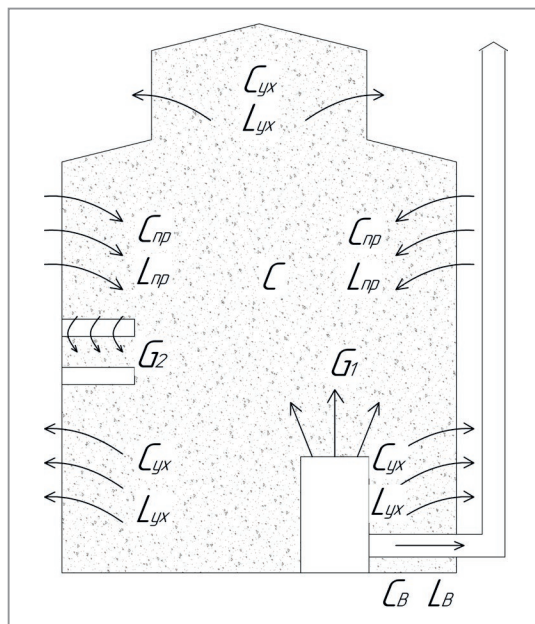


Рис. 1. Схема помещения участка цеха с источниками выделения пыли

Принимая во внимание факт, что запыленный воздух от источника, удаляемый местной вытяжной вентиляцией, не попадает в пространство участка литейного цеха в уравнении (1)  $L_{\text{в}} C_{\text{в}}$  не учитываем.

Тогда уравнение (1) принимает вид

$$V \frac{dC}{dt} = L_{\text{пр}} C_{\text{пр}} + G - L_{\text{yx}} C_{\text{yx}} - K v_s V C. \quad (2)$$

Разделив обе части уравнения на  $V$ , получим

$$\frac{dC}{dt} = K_p C_{\text{пр}} + \hat{C} - C_{\text{yx}} \frac{L_{\text{yx}}}{V} - K v_s C, \quad (3)$$

где  $\hat{C} = G/V$  – удельное пылевыделение в помещении цеха, мг/м<sup>3</sup>ч;

$K_p = L_{\text{пр}}/V$  – кратность воздухообмена в помещении, 1/ч.

Введем следующие обозначения:

$$m = \hat{C} + K_p C_{\text{пр}} - C_{\text{yx}} \frac{L_{\text{yx}}}{V},$$

$$n = K v_s.$$

Тогда уравнение (3) принимает вид:

$$\frac{dC}{dt} = m - nC.$$

Общее решение этого уравнения имеет вид

$$C = \frac{1}{n} \left[ m + (nC_0 - m)e^{-n(t-t_0)} \right], \quad (4)$$

где  $C_0$  – начальная концентрация пыли в воздухе участка цеха при  $t = t_0$ , мг/м<sup>3</sup>.

Величины  $L_{yx}$  и  $C_{yx}$  определяли экспериментально при исследовании выбросов вредных веществ в атмосферу через светоаэрационные фонари и другие устройства (естественная общеобменная вентиляция). Кратность воздухообмена  $K_p$  в помещениях участков литейных цехов принималась равной действующим системам вентиляции.

Для определения интенсивности осаждения пыли  $G$  использовали результаты работ [2, 4], экспериментальные исследования которых показали, что интенсивность осаждения пыли можно считать прямо пропорциональной массе пыли, взвешенной в воздухе:

$$G = K_0 m_B = K_0 V C_i, \quad (5)$$

где  $G$  – интенсивность осаждения пыли, мг/ч;

$K_0$  – коэффициент осаждения, 1/ч;

$V$  – внутренний объем помещения, м<sup>3</sup>;

$m_B$  – масса пыли, находящейся внутри помещения во взвешенном состоянии, мг;

$C_i$  – концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup> (определяли экспериментально при протекании технологических процессов).

Величина  $K_0$  может быть рассчитана по формуле [5]:

$$K_0 = \frac{S}{V\sigma}, \quad (6)$$

где  $\sigma = \sum_{i=1}^n \Delta D_i / v_{Si}$ .

Здесь  $\Delta D_i$  – доля частиц  $i$ -й фракции;  $v_{Si}$  – средняя скорость витания частиц  $i$ -й фракции, м/с;  $V$  – объем здания, м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь здания, м<sup>2</sup>.

Скорость витания пылевых частиц определяли по номограммам [6, 7], которые распространяются на частицы диаметром до 300 мкм и учитывают плотность частиц и динамическую вязкость воздушной среды при различных температурах.

Скорость витания можно определить и по формуле Стокса:

$$v_S = \frac{d^2 (\rho_{\Pi} - \rho_B) g}{18\mu_B}, \quad (7)$$

где  $d$  – диаметр частиц, мкм;

$\rho_{\Pi}$ ,  $\rho_B$  – плотность частицы пыли и окружающей среды, Н/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\mu_B$  – динамическая вязкость воздуха при давлении 1000 ГПа, 10<sup>6</sup> Па·с.

Однако проведенные расчеты показали, что для частиц диаметром до 60 мкм скорости витания, полученные по формуле (7) и номограмме, отличаются незначительно, а для частиц размером более 60 мкм разница в полученных значениях  $v_S$  составляет от 3 до 6 раз. Поэтому при определении скорости витания частиц разного диаметра использовали номограммы.

Для определения плотности и доли частиц пыли на различных участках литейных цехов использовали результаты исследований, проведенных ГПИ «Сантехпроект», Одесским СПКИ и Запорожским филиалом НИИОГАЗ [8].

Для расчета концентрации пыли на участках литейных цехов использовали программу расчета по уравнению (4). В программе предусмотрен расчет концентраций пыли для воздуха рабочей зоны, которую приняли высотой от 1 до 2 м от уровня пола или площадки, т.е. в зоне дыхания работающих в положении стоя или сидя (рис. 2). На частицы пыли, выделяемые источником, действуют две составляющие: скорость витания  $v_S$  и скорость воздуха на участке  $v_B$ , дающие результирующую  $\vec{v}$ , которая определяет их перемещение в пространстве участка. Значения  $v_B$  в расчетах принимали равными средним значениям скоростей движения воздуха на участках литейных цехов, определенным экспериментально при исследовании микроклимата. При этом считали, что эти скорости учитывают подвижность воздуха от окон, въездных ворот и конвективных потоков от источников тепла.

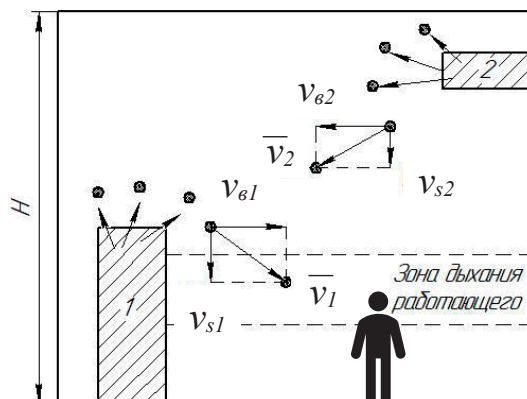


Рис. 2. Схема расчета концентраций пыли в рабочей зоне участков литейных цехов:  
 $1, 2$  – источники пылевыведения;  $H$  – высота помещения;  $\bullet$  – частицы пыли;  $v_s$  – скорость витания частиц;  
 $v_b$  – скорость движения воздуха в помещении;  $\vec{v}$  – скорость перемещения частицы в воздушном потоке

Результатом расчета является определение содержания частиц в зоне дыхания, т.е. тех, которые достигли отметки 2 м по высоте за вычетом частиц ниже уровня 1 м.

Выброс пыли источником принимается постоянным или периодическим в зависимости от режима работы используемого на участке оборудования. Например, при работе бегунов выброс происходит в течение цикла смешивания сухих компонентов и повторяется через определенное время при следующем замесе.

Для получения наглядной картины с запыленностью участка цеха в программе предусмотрен расчет концентраций пыли в различных точках помещения, причем при достижении частиц от различных источников пылевыведения одной точки их концентрации суммируются (рис. 3).

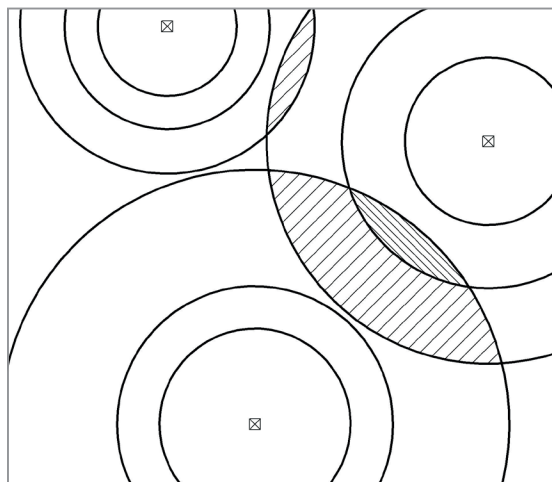


Рис. 3. Схема расчета концентраций пыли по участку литейного цеха:  
 $\boxtimes$  – источники пылевыведений; / – линия концентрации пыли; // – зоны суммирования концентрации пыли

Таким образом, можно получить распределение пыли по помещению участка литейного цеха во времени. Тем более, что при постоянном или циклическом выбросе пыли картина должна быть отличной, так как в первом случае имеет место постоянное наращивание концентрации пыли, а во втором – снижение ее до какой-то концентрации, затем возрастание и т.д.

В качестве примера была получена карта распределения пыли по участку литейного цеха, выбранного в качестве объекта для исследований, где замеры концентраций пыли уже проводили. Распределение пыли на рабочих местах данного участка, полученное расчетным путем, сравнивали с экспериментальными данными при аналогичных условиях, которое показало достаточную сходимость результатов. Однако рассматриваемая картина распределения верна только для определенного момента времени, когда все источники данного участка работают одновременно. В дальнейшем происходит быстрое перемешивание и выравнивание концентраций пыли по всему объему данного помещения за счет значительных скоростей воздушных потоков, что необходимо учитывать при разработке путей уменьшения запыленности воздуха рабочих зон участков литейных цехов (локализация выбросов у источника их выделения).

Таким образом, полученные результаты показывают возможность получения расчетным путем более объективной картины с запыленностью на участках литейных цехов, так как при расчетах учитывается время начала и окончания работы каждого источника пылевыведения. При этом можно осуществлять расчет концентраций пыли для любого времени работы участка, так как практически все оборудование литейных цехов работает не постоянно, а в циклическом режиме, а замеры концентраций пыли осуществляются, как правило, при протекании более пыльных операций технологических процессов. Поэтому в публикациях отмечаются значительные концентрации пыли на многих рабочих местах литейных цехов [9].

Результаты проведенных теоретических расчетов показывают, что в рассматриваемых литейных цехах с действующими технологическими процессами эффективным средством уменьшения запыленности воздуха рабочих зон является улавливание пыли правильно рассчитанной, спроектированной и установленной системой местной вытяжной вентиляции у источников интенсивного пылевыведения с учетом дисперсности пыли.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Коптев Д. В.** К вопросу об организации воздухообмена в цехах с пылевыведениями // ВЦИИОТ ВЦСПС. 1975. Вып. 96. С. 14–21.
2. **Минко В. А., Шаптала В. Г., Подгорный Н. Н.** Определение интенсивности выделения пыли и кратности воздухообмена в цехах силикатного кирпича // Строительные материалы. 1979. № 9. С. 22–23.
3. **Коптев Д. В.** К вопросу о рециркуляции воздуха при использовании обеспыливающих устройств // ВЦИИОТ ВЦСПС. 1971. Вып. 72. С. 24–26
4. **Минко, В. А.** Обеспыливание в литейных цехах машиностроительных предприятий / В. А. Минко, М. И. Кулешов, Л. В. Плотникова. М.: Машиностроение, 1987. 224 с.
5. **Шаптала В. Г., Подгорный Н. Н.** Исследование дисперсного состава и интенсивности осаждения витающей пыли // Использование нерудных ресурсов железорудных предприятий для производства строительных материалов. МИСИ и БТИСМ. 1983. С. 79–86.
6. **Пирумов А. И.** Обеспыливание воздуха. М.: Стройиздат, 1981. 296 с.
7. **Старк С. Б.** Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. М.: Металлургия, 1977. 328 с.
8. **Пухиря В. И., Лебедюк Г. К., Вихарев А. Ф.** Состав и обезвреживание пылегазовых выбросов литейных цехов // Санитарно-гигиенические и экологические проблемы в литейном производстве: Тез. докл. конф. 2–4.12.1980 г. М., 1981. С. 93–98.
9. **Лазаренков, А. М.** Исследование воздуха рабочих зон литейных цехов / А. М. Лазаренков // Литье и металлургия. 2019, № 2. С. 138–142.

### REFERENCES

1. **Koptev D. V.** K voprosu ob organizacii vozduhoobmena v cehax s pylevydelenijami [On the issue of organizing air exchange in workshops with dust emissions]. *VCIOT VCSPS = VCIOT VCSPS*, 1975, vyp. 96, pp. 14–21.
2. **Minko V. A., Shaptala V. G., Podgornij N. N.** Opredelenie intensivnosti vydelenija pyli i kratnosti vozduhoobmena v cehax silikatnogo kirpicha [Determination of the intensity of dust emission and the frequency of air exchange in sand-lime brick workshops]. *Stroitel'nye materialy = Construction Materials*, 1979, no. 9, pp. 22–23.
3. **Koptev D. V.** K voprosu o recirkuljacii vozduha pri ispol'zovanii obespylivajushhijh ustrojstv [On the issue of air recirculation when using dedusting devices]. *VCIOT VCSPS = VCIOT VCSPS*, 1971, vyp. 72, pp. 24–26.
4. **Minko V. A., Kuleshov M. I., Plotnikova L. V.** *Obespylivanie v litejnyh cehah mashinostroitel'nyh predpriyatij* [Dedusting in foundries of machine-building enterprises]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 224 p.
5. **Shaptala V. G., Podgornij N. N.** Issledovanie dispersnogo sostava i intensivnosti osazhdenija vitajushhej pyli [Investigation of the dispersed composition and intensity of the deposition of floating dust]. *Ispol'zovanie nerudnyh resursov zhelezorudnyh predpriyatij dlja proizvodstva stroitel'nyh materialov = Use of non-metallic resources of iron ore enterprises for the production of building materials*, MISI i BTISM Publ., 1983, pp. 79–86.
6. **Pirumov A. I.** *Obespylivanie vozduha* [Air dedusting]. Moscow, Strojizdat Publ., 1981, 296 p.
7. **Stark S. B.** *Pyleulavlivanie i ochistka gazov v metallurgii* [Dust collection and gas purification in metallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1977, 328 p.
8. **Puhirja V. I., Lebedjuk G. K., Viharev A. F.** Sostav i obezvezhivanie pylegazovyh vybrosov litejnyh cehov [Composition and neutralization of dust and gas emissions from foundries]. *Sanitarно-gigienicheskie i jekologicheskie problemy v litejnom proizvodstve = Sanitary-hygienic and environmental problems in the foundry industry*. Moscow, 1981, pp. 93–98.
9. **Lazarenkov A. M.** Issledovanie vozduha rabochih zon litejnyh cehov [Study of the air in the working areas of foundries]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 2, pp. 138–142.