

Сравнительная оптимизация воздухообмена для основных типов местных вытяжных устройств

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования (ОВиК) занимают значительную долю в общей структуре энергопотребления здания. Для определения годовых расходов энергоресурсов существуют специальные методики, а также разрабатываются новые подходы к их определению с учётом современных требований [1]. Зачастую именно с систем ОВиК начинают оптимизировать энергопотребление здания. Комплексная оптимизация систем промышленной вентиляции (СПВ) — сложная научно-техническая проблема [2, 3]. В данной работе рассмотрена возможность оптимизации воздухообмена в СПВ только для схемы, изображённой на рис. 1.

Допущения, принятые для расчётной схемы СПВ (рис. 1), учитываемые при составлении и решении системы уравнений, следующие:

- минимальный расход приточного (наружного) воздуха больше, чем необходимый для ассимиляции тепло- и влагоизбытков и по санитарной норме;
- процесс выделения и распространения вредности стационарный;
- помещение с незначительными избытками явной теплоты;

Зачастую именно с систем отопления, вентиляции и кондиционирования начинают оптимизировать энергопотребление здания. Комплексная оптимизация систем промышленной вентиляции (СПВ) — сложная научно-техническая проблема. В этой работе рассмотрена возможность оптимизации воздухообмена в СПВ определённой схемы

- концентрация вредного вещества в приточном (наружном) воздухе много меньше предельно допустимой ($c_n \ll ПДК$);
- коэффициент воздухообмена $K_L = 1$ (например, подача воздуха осуществляется сосредоточенно, выше рабочей зоны с использованием направляющих сопел при любой кратности воздухообмена либо при любой схеме организации воздухообмена при кратности 15 и более [4, 5]);
- все источники одноимённой вредности ($G_{вр.1} = G_{вр.2} = \dots = G_{вр.л}$) оборудованы местным вытяжным устройством (МВУ) одинакового типа с одинаковой характеристикой $k_{уд}$ ($a_1 = a_2 = \dots = a_n$ и $n_1 = n_2 = \dots = n_n$), подробнее см. [6].

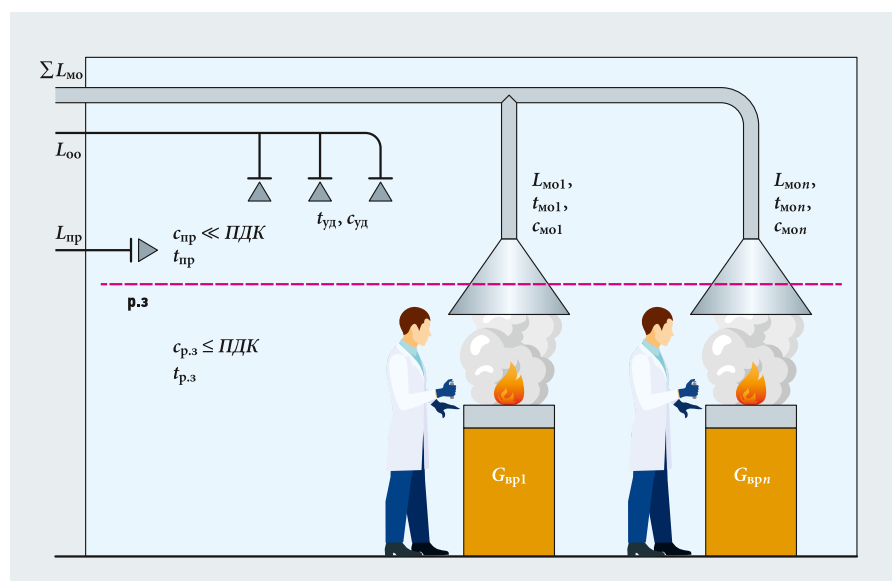


Рис. 1. Расчётная схема СПВ для определения минимального воздухообмена при наличии в помещении источников одноименной вредности

Рецензия эксперта на статью получена 09.12.2025 [The expert review of the article was received on December 9, 2025]

УДК 697.984. Научная специальность: 2.1.3.

Сравнительная оптимизация воздухообмена для основных типов местных вытяжных устройств

Андрей Александрович Боровицкий, главный специалист ОВиК, ООО «Прайм Групп» (г. Москва)

В статье приводится сравнение трёх основных типов местных вытяжных устройств с целью поиска конструкции, применение которой выгоднее в задаче оптимизации воздухообмена в промышленных зданиях.

Ключевые слова: коэффициент эффективности, местное вытяжное устройство, местная вытяжная вентиляция, промышленная вентиляция.

UDC 697.984. Scientific specialty number: 2.1.3.

Comparative optimization of air exchange for the main types of local exhaust devices

Andrei A. Borovitsky, Chief Heating, Ventilation and Air Conditioning Specialist, "Prime Group", LLC (Moscow)

This article compares three main types of local exhaust devices with the aim of finding a design that is more advantageous for optimizing air exchange in industrial buildings.

Key words: efficiency coefficient, local exhaust device, local exhaust ventilation, industrial ventilation.

Система балансов расходов воздуха и потоков вредностей для данного случая:

$$\begin{cases} k_{\text{длб}} L_{\text{пр}} - \sum_{i=1}^n L_{\text{мо},i} - L_{\text{оо}} = 0, \\ \sum_{i=1}^n G_{\text{вр},i} (1 - k_{\text{ул},i}) - L_{\text{оо}} (c_{\text{уд}} - c_{\text{пр}}) = 0, \\ \sum_{i=1}^n G_{\text{вр},i} - \sum_{i=1}^n L_{\text{мо},i} (c_{\text{р},3} - c_{\text{пр}}) - L_{\text{оо}} (c_{\text{уд}} - c_{\text{пр}}) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $L_{\text{пр}}$ — расход приточного воздуха, м³/с; $L_{\text{мо}}$ — расход МВУ, м³/с; $L_{\text{оо}}$ — расход общеобменной вытяжки, м³/с; $k_{\text{длб}} > 1$ — коэффициент дисбаланса при выделении в производственном помещении вредных веществ, учитывающий превышение вытяжки над притоком; $G_{\text{вр}}$ — расход вредного вещества, выделяющегося от источника, оборудованного местным вытяжным устройством, мг/с; $c_{\text{уд}}$ — концентрация вредного вещества в воздухе, удаляемом общеобменной вытяжной системой, мг/м³.

Общая теоретическая экспоненциально-степенная зависимость коэффициента улавливания вредности МВУ была предложена в работе [6] для описания многочисленных опытных данных:

$$k_{\text{ул}} = 1 - \exp[-(a v_{\text{мо}})^n] = f(v_{\text{мо}}, F_{\text{мо}}, \dots) = 0 \dots 1, \quad (2)$$

где a [с/м] и n — соответственно, множитель и показатель степени, согласующие экспериментальные данные испытаний с гипотетической экспоненциально-степенной зависимостью (2) и обеспечивающие выражение в круглых скобках безразмерным; $v_{\text{мо}}$ — скорость всасывания в рабочем сечении МВУ, м/с; $F_{\text{мо}}$ — площадь рабочего сечения МВУ, м².

Выберем три основных типа МВУ: бортовой отсос 1, вытяжной зонт 2 и подъемно-поворотное устройство 3 (рис. 2а). Для них определим зависимость общего расхода удаляемого из цеха воздуха при различных значениях $a_i v_{\text{мо},i}$ и n_i в формуле (2). Расход приточного воздуха с учётом принятых допущений, необходимый для разбавления вредных веществ, не уловленных МВУ при $c_{\text{р},3} = \text{ПДК}$:

$$\begin{aligned} L_{\text{пр},i} &= G_{\text{вр},i} \frac{1 - k_{\text{ул},i}}{\text{ПДК}} = \\ &= G_{\text{вр},i} \frac{\exp[-(a_i v_{\text{мо},i})^n]}{\text{ПДК}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Концентрация вредных веществ в уходящем воздухе МВУ:

$$c_{\text{мо}} = c_{\text{р},3} + G_{\text{вр}} \frac{k_{\text{ул},c}}{L_{\text{мо}}} \geq \text{ПДК}. \quad (4)$$

Вытяжные устройства выбраны для условия равных расходов удаляемого воздуха

ха $v_{\text{мо}1} F_{\text{мо}1} = v_{\text{мо}2} F_{\text{мо}2} = v_{\text{мо}3} F_{\text{мо}3} = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ при равном коэффициенте улавливания вредности МВУ $k_{\text{ул}} = 0,6$, при скоростях $v_{\text{мо}1} = 5 \text{ м/с}$, $v_{\text{мо}2} = 0,25 \text{ м/с}$ и $v_{\text{мо}3} = 2,5 \text{ м/с}$ показатели степени $n_1 = 1,2$, $n_2 = 1,5$ и $n_3 = 2,0$, соответственно.

Из зависимости для коэффициента улавливания (2) найдём коэффициенты $a_1 = 0,186$, $a_2 = 3,77$ и $a_3 = 0,383$. Изменяя

Максимальная концентрация вредного вещества, которую возможно определять по методике, представленной в работе [7], то есть $c_{\text{мо},\text{max}1} \approx 0,43 \text{ мг/м}^3$ (точка А), $c_{\text{мо},\text{max}2} \approx 0,4 \text{ мг/м}^3$ (точка В) и $c_{\text{мо},\text{max}3} \approx 0,41 \text{ мг/м}^3$ (точка С), достигается при коэффициентах улавливания вредности $k_{\text{ул}1} \approx 0,3$, $k_{\text{ул}2} \approx 0,54$ и $k_{\text{ул}3} \approx 0,72$, соответственно.

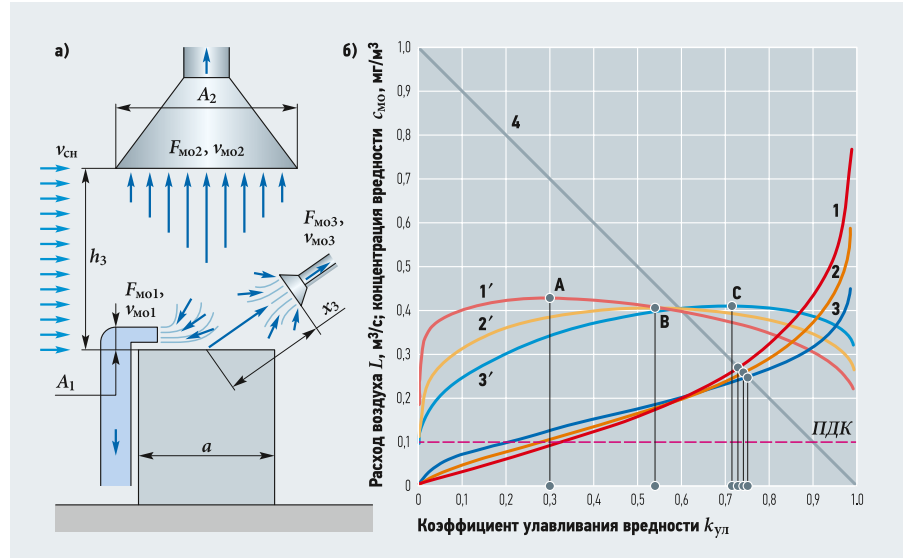


Рис. 2. Основные типы и сравнительные характеристики МВУ [а — источник вредности и сравнительное расположение по отношению к нему местных вытяжных устройств: бортового отсоса, вытяжного зонта, наклонного подъемно-поворотного устройства; б — зависимости расхода удаляемого воздуха МВУ от коэффициента улавливания 1, 2, 3 и расхода приточного (наружного) воздуха 4; 1', 2', 3' — зависимости концентрации в уходящем воздухе от коэффициента улавливания МВУ; график построен по данным: $G_{\text{вр}} = 0,1 \text{ мг/с}$, $\text{ПДК} = 0,1 \text{ мг/м}^3$, $F_{\text{мо}1} = 0,04 \text{ м}^2$, $F_{\text{мо}2} = 0,8 \text{ м}^2$, $F_{\text{мо}3} = 0,08 \text{ м}^2$]

скорость всасывания, вычисляем $k_{\text{ул}}$ каждого МВУ и расход приточного воздуха для него, после чего наносим их на график (рис. 2б). Коэффициент улавливания, соответствующий случаю $L_{\text{пр}} = L_{\text{мо}}$ [2], для трёх МВУ имеет разное, хотя и близкое значение $k_{\text{ул},\text{опт}} \approx 0,75$ в условиях данного примера и может быть однозначно определён по методике, приведённой в [6].

Концентрация вредного вещества в уходящем от МВУ воздухе определяется по зависимости (4), в которой принимают $c_{\text{р},3} = \text{ПДК}$.

Исходя из изложенного в данной статье, можно сделать следующий вывод: при одинаковом воздухообмене выгоднее конструкция, у которой показатель степени n больше, так как в этом случае оба коэффициента — эффективности и улавливания — будут больше, чем у других МВУ. Наименьший воздухообмен позволит обеспечить МВУ с бóльшим показателем степени n

Выводы

При одинаковом воздухообмене выгоднее конструкция, у которой показатель степени n больше, так как в этом случае оба коэффициента эффективности $k_{\text{эф}}$ и улавливания $k_{\text{ул}}$ будут больше, чем у других МВУ. Наименьший воздухообмен позволит обеспечить МВУ с бóльшим показателем степени n .

- Визерский Д.С., Желдаков Д.Ю. Основные положения методического подхода к определению годового расхода энергетических ресурсов на кондиционирование воздуха // Журнал «БСТ», 2025. №3. С. 57–59.
- Посохин В.Н. Расчёт местных отсосов от тепло- и газо-выделяющего оборудования. — М.: Машиностроение, 1984. 160 с.
- Посохин В.Н., Сафиуллин Р.Г., Бройда В.А. Вентиляция. — М.: Изд-во АСВ, 2015. 624 с.
- Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2. 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. — М.: Стройиздат, 1992. 416 с.
- Позин Г.М. О точности определения коэффициента воздухообмена // Вестник МГСУ, 2011. №7. С. 319–325.
- Сотников А.Г., Боровицкий А.А. Теоретически-экспериментальное обоснование метода оптимизации воздухообменов в системах промышленной вентиляции // Инженерно-строительный журнал, 2012. №2. С. 32–38.
- Боровицкий А.А. Метод определения оптимального коэффициента эффективности местных вытяжных устройств // Журнал СОК, 2025. №3. С. 40–41.

References — see page 80.

Comparative optimization of air exchange for the main types of local exhaust devices. Pp. 64–65.

Andrei A. Borovitsky, Chief Heating, Ventilation and Air Conditioning Specialist, "Prime Group", LLC (Moscow)

1. D.S. Vizerskiy, D.Yu. Zheldakov. *Osnovnye polozheniya metodicheskogo podhoda k opredeleniyu godovogo raskhoda energeticheskikh resursov na konditsionirovanie vozdukh* [Basic provisions of the methodological approach to determining the annual consumption of energy resources for air conditioning]. *Zhurnal "BST"* ["Bulletin of construction equipment" Magazine]. 2025. No. 3. Pp. 57–59. [In Russian]
2. V.N. Posokhin. *Raschet mestnykh otosov ot teplo- i gazovydelyayushchego oborudovaniya* [Calculation of local exhaust from heat and gas generating equipment]. Moscow. *Mashinostroenie* ["Engineering Industry" State Publishing House of the USSR ("Mashgiz" Publishers)]. 1984. 160 p. [In Russian]
3. V.N. Posokhin, R.G. Safiullin, V.A. Broyda. *Ventilyatsiya* [Ventilation]. Moscow. *Izd-vo ASV* [Publishing House of the Association of Construction Universities ("ASV" Publishers)]. 2015. 624 p. [In Russian]
4. *Vnutrennie sanitarno-tekhicheskie ustrojstva. Ch. 3: Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh. Kn. 2* [Internal Sanitary Devices. Part 3: Ventilation and Air Conditioning. The book No. 2]. 4th edition, rev. and exp. Edited by N.N. Pavlov and Yu.I. Schiller. Moscow. *Strojizdat* [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture ("Stroiizdat" Publishers)]. 1992. 416 p. [In Russian]
5. G.M. Pozin. *O tochnosti opredeleniya koeffitsienta vozdukhooobmena* [On the accuracy of determining the air exchange coefficient]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering]. 2011. No. 7. Pp. 319–325. [In Russian]
6. A.G. Sotnikov, A.A. Borovitsky. *Teoreticheski-eksperimental'noe obosnovanie metoda optimizatsii vozdukhooobmenov v sistemakh promyshlennoj ventilyatsii* [Theoretical and experimental substantiation of the method for optimizing air exchange in industrial ventilation systems]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Journal of Civil Engineering]. 2012. No. 2. Pp. 32–38. [In Russian]
7. A.A. Borovitsky. Metod opredeleniya optimal'nogo koeffitsienta effektivnosti mestnykh vytyazhnykh ustrojstv [Method for determining the optimal efficiency coefficient of local exhaust devices]. *Zhurnal Santechnik, Otoplenie, Konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2025. No. 3. Pp. 40–41. [In Russian]