

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ БОРТОВОГО ОТСОСА С ПЕРЕДУВКОЙ

Широкое применение в современных термических и гальванических цехах для удаления вредных выделений от ванн различного назначения нашли щелевые бортовые отсосы. При ширине открытой ванны более 0,6 м экономически оправдано применение системы «передувка-отсос», создающей воздушно-струйное укрытие ванны. Рассмотрены способы уточнения расходов приточного и удаляемого воздуха активированного отсоса с передувкой для повышения эффективности улавливания вредных выделений, экономии энергоресурсов и более обоснованного подбора вентиляционного оборудования. Произведен анализ исследований и публикаций в отечественных и зарубежных источниках. Достоверные данные о необходимых расходах воздуха в приточной струе и щелевом бортовом отсосе можно получить на основании математического моделирования рассматриваемого процесса. Процесс работы бортового отсоса с передувкой проанализирован на основании рассмотрения плоской картины взаимодействия трех течений: восходящего потока вредных выделений, плоской приточной струи и течения, обусловленного работой всасывающей щели бортового отсоса. Получены зависимости для расчета расходов приточного и удаляемого воздуха активированного бортового отсоса. Установлена зависимость объема удаляемого воздуха от скорости восходящего потока вредных выделений. Для проверки результатов выполненных теоретических исследований был проведен вычислительный эксперимент с использованием компьютерных программ. Выполнены сравнительные расчеты расходов вентиляционного воздуха для существующего технологического оборудования – масляного закалочного бака в термическом отделении. При этом использовались известные методики и полученные автором зависимости. Результаты расчетов показали существенное расхождение объемов приточного и удаляемого воздуха. Сформулированы рекомендации по оптимизации конструкции активированного отсоса закалочного бака. Для сокращения влияния неорганизованных воздушных потоков в производственном помещении на работу передувки и бортового отсоса в торцах бака предложено предусмотреть вертикальные воздухопроницаемые экраны.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** В современных термических и гальванических цехах для борьбы с вредными выделениями широко применяются бортовые отсосы. В случае, если ванны различного назначения имеют ширину более 0,6 м, рекомендуется применять двухбортовые отсосы или системы «передувка-бортовой отсос» [9,11].

При этом важно подавать и удалять от бортового отсоса оптимальные объемы воздуха. Недостаточное количество удаляемого воздуха не позволит локализовать выделяющиеся вредности, избыточное - приведет к перерасходу энергии. В связи с этим требуется разработка более обоснованного метода расчета объемов приточного и удаляемого воздуха.

**Анализ исследований и публикаций.** Разработкой методов расчета бортовых отсосов занимались как отечественные, так и зарубежные авторы: В.В. Батулин, Я.А. Гальчинский, В.Д. Столер, Ю.Я. Савельев, В.Н. Посохин, И.М. Халецкий и др. [1-6, 10-15]. Вместе с тем, существующие методики определения расходов приточного и отсасываемого воздуха, разработанные с использованием различных подходов, дают большие расхождения в результатах.

**Постановка задачи.** Уточнение расходов приточного и удаляемого воздуха для бортового отсоса с передувкой позволят эффективнее улавливать вредные выделения, экономить энергоресурсы и более обоснованно подбирать вентиляционное оборудование.

**Изложение материала и результаты.** Как было установлено ранее [7], для расчета бортового отсоса нужно знать параметр  $M$ , который выражает отношение объема воздуха, удаляемого бортовым отсосом к объему восходящего потока загрязненного воздуха. Параметр  $M$  зависит от максимального поднятия критической линии тока воздушного течения у бортового отсоса  $h^*$ .

Для определения требуемого значения коэффициента  $M$ , выполним исследования на экстремум критической линии тока, определяемой равенством

$$F(x^*, y^*) = 1 - x^* - m \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \delta^* \sqrt{1 - x^*} \operatorname{th} \eta^* - \frac{2}{\pi} M \arcsin \frac{q^* - p^*}{2} = 0.$$

Так как

$$\frac{dF(x^*, y^*)}{dx^*} = \frac{\partial F(x^*, y^*)}{\partial x^*} + \frac{\partial F(x^*, y^*)}{\partial y^*} \cdot \frac{dy^*}{dx^*} = 0,$$

а в точке максимума линии тока ( $dy^*/dx^*=0$ ), то координаты экстремальной точки определяются уравнением

$$\frac{\partial F(x^*, y^*)}{\partial x^*} = 0. \quad (1)$$

В развернутой форме уравнение (1) имеет вид

$$-1 - m\sqrt{\delta^*} \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \frac{\partial}{\partial x^*} \left( \sqrt{1-x^*} \operatorname{tg} \eta^* \right) - \frac{2}{\pi} M \frac{\frac{\partial}{\partial x^*} \left( \frac{q^* - p^*}{2} \right)}{\sqrt{1 - \left( \frac{q^* - p^*}{2} \right)^2}} = 0. \quad (2)$$

Далее уравнение (2) преобразуется к

$$\frac{M}{\pi} \cdot \frac{x^*(q^* - p^*)}{\left( \frac{a^*}{2} \right)^2 p^* q^*} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left( \frac{q^* - p^*}{2} \right)^2}} = 1 + m\sqrt{\delta^*} \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \frac{1}{2\sqrt{1-x^*}} \left[ 2\eta^*(1 - \operatorname{th}^2 \eta^*) - \operatorname{th} \eta^* \right].$$

Таким образом, для определения координат  $x_M, y_M$  точки максимума критической линии тока имеются два уравнения

$$1 - x_M - m\sqrt{\delta^*} \sqrt{\frac{3}{4\sigma}} \sqrt{1-x_M} \operatorname{th} \eta_M - \frac{2}{\pi} M \arcsin \frac{q_M - p_M}{2} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{M}{\pi} \cdot \frac{q_M - p_M}{\left( \frac{a^*}{2} \right)^2 p_M q_M \sqrt{1 - \left( \frac{q_M - p_M}{2} \right)^2}} = 1 + \frac{m\sqrt{\delta^*}}{\sqrt{1-x_M}} \sqrt{\frac{3}{16\sigma}} \left[ 2\eta_M (1 - \operatorname{th}^2 \eta_M) - \operatorname{th} \eta_M \right], \quad (4)$$

где

$$q_M = \sqrt{\left( 1 + \frac{2y_M}{a^*} \right)^2 + \left( \frac{2x_M}{a^*} \right)^2}; \quad p_M = \sqrt{\left( 1 - \frac{2y_M}{a^*} \right)^2 + \left( \frac{2x_M}{a^*} \right)^2}, \quad \eta_M = \sigma \frac{y_M}{1-x_M}.$$

Очевидно, следует положить

$$y_M = h^*.$$

Решением системы уравнений (3) и (4) определены соответствующие значения параметра  $M$ , характеризующего максимальное поднятие линии тока вредных выделений над поверхностью.

Для проверки результатов выполненных теоретических исследований был проведен вычислительный эксперимент с использованием программного обеспечения FlowVision. Сравнение данных показывает удовлетворительное согласование теоретических и экспериментальных результатов.

Порядок расчета необходимого расхода отсасываемого воздуха при заданных: размерах щели бортового отсоса -  $a^*/2$ , ширины ванны (бака) -  $l$ , скорости восходящего потока вредных выделений -  $U_\phi$  и параметра, характеризующего передувку -  $m\sqrt{\delta^*}$  сводится к следующему. Задаются допустимой высотой поднятия критической линии тока -  $h^*$ , далее при известной величине  $a^*/2$  определяется соответствующее значение параметра  $M$ . Затем вычисляется удельный расход воздуха на один погонный метр длины щели по формуле

$$L_{щ} = \left( M + m\sqrt{\delta^*} \cdot 0,3127 \right) U_\phi \cdot l, \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет также вычислить объем отсасываемого воздуха для обычного бортового отсоса - без передувки. В этом случае параметр  $m\sqrt{\delta^*}$  следует принимать равным нулю.

Также для проверки изложенной теоретической методики расчета бортового отсоса, экранированного приточной плоской струей были проведены экспериментальные исследования в лабораторных условиях с применением теневого метода визуализации воздушных течений.

Результаты экспериментального определения требуемых объемов отсасываемого воздуха и сравнение их с рассчитанными данными показали удовлетворительное совпадение.

Оценка существующих методик расчета объемов приточного и удаляемого воздуха для активированных бортовых отсосов произведена на примере масляного закалочного бака в термическом отделении Опытного завода ПАО «КриворожНИПИрудмаш». Работа масляного закалочного бака характеризуется наиболее неблагоприятными воздействиями на состояние воздушной среды термического отделения. Бак вмещает около 4 м<sup>3</sup> масла и имеет форму прямоугольной призмы. В качестве закалочных сред используются различные виды масел, главным образом, промышленное и машинное с максимальной температурой воспламенения 240°С. Эта температура является одним из критериев при выборе марки масла.

Температура масла в баке должна быть на 40-60 °С ниже температуры воспламенения, то есть не превышать 180-200 °С.

Закаливаемые изделия загружаются в бак с помощью крана, поэтому для локализации вредных выделений не представляется возможным использовать полуоткрытые и полностью закрытые местные отсосы, которые имеют достаточно высокую эффективность улавливания вредных веществ.

Для локализации паров масла проектом предусматривалось оборудовать закалочный бак двухбортовым отсосом с расположением воздухоприемников вдоль длинных сторон бака. Размещение одного воздухоприемника со стороны зоны обслуживания затрудняет проведение технологических операций по загрузке и выгрузке деталей из бака, поэтому этот воздухоприемник в процессе эксплуатации был демонтирован. Устройство одностороннего бортового отсоса нецелесообразно, поскольку его эффективность ограничивается предельной шириной зеркала испарения, равной 0,6 м. В данном случае ширина ванны равна  $l=1,15$  м, длина  $a=2,95$  м.

В связи с этим предпочтительно устройство бортового отсоса с использованием экраняющей приточной струи, т.е. отсоса с передувкой. Он эффективен и сравнительно экономичен при условии, если над зеркалом испарения в баке нет выступающих частей.

В настоящее время существует достаточно большое количество методик расчетов бортовых отсосов с передувками. Авторы на основании различных подходов - экспериментальных и аналитических разработали методики расчета объемов приточного и отсасываемого воздуха.

Результаты выполненных расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты сравнительных расчетов бортового отсоса с передувкой закалочного масляного бака по существующим методикам

Автор методики, номер ссылки на источник	Объем приточного воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Объем отсасываемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч
Батурин В.В. [2]	1346	8076
ГПИ Сантехпроект [3]	1070	4885
Гальчинский Я.А. [4]	902	6155
Столер В.Д., Савельев Ю.Я. [5]	2729	8259
Посохин В.Н. [6]	3155	13261
Халецкий И.Т. [7]	2576	35337

Из приведенных данных видно, что полученные величины существенно отличаются друг от друга как по объему приточного воздуха (от 902 до 3155 м<sup>3</sup>/ч), так и по расходу отсасываемого воздуха (от 4885 до 35337 м<sup>3</sup>/ч). Такой разбег объемов вентиляционного воздуха потребовал проведения исследований и разработки усовершенствованной методики расчета бортового отсоса, экраняемого приточной струей.

Для передувки используем плоскую приточную струю со скоростью истечения, принятой согласно рекомендации [8,9] равной  $u_c=10$  м/с. При этом ширина щели назначается равной порядка  $\delta=(0,01-0,015)l$ , но не менее 0,005 м во избежание засорения [5,8,9]. В нашем случае величину  $\delta$  можно принять равной 0,01м. Ширина щели отсоса принимается равной  $a/2=(0,075-0,1)l$ . Принимаем  $a/2=0,115$  м.

Объем приточного воздуха, необходимый для передувки определится из очевидного соотношения

$$L_C = k_e \cdot W_c \cdot \delta \cdot S = 1,2 \cdot 10 \cdot 0,01 \cdot 2,95 = 0,354 \text{ м}^3/\text{с} = 1275 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $k_e$  - коэффициент запаса для учета подвижности воздуха в помещении,  $k_e=1,2$ .

В соответствии с (18)

$$m = \frac{u_c l}{u_\phi l} = \frac{10}{u_\phi}, \quad m \sqrt{\delta^*} = \frac{10}{u_\phi} \sqrt{\frac{0,01}{1,15}} = \frac{0,932}{u_\phi}.$$

С учетом размещения закалочного бака допустимая высота подъема вредных выделений принята равной  $h=0,23$  м, т.е.  $h^* = h/l = 0,23/1,15 = 0,2$ .

В данном случае при  $h^*=0,2$  и  $a^*/2=a/2l$   $a^*/2 = a/2l = 0,1$  имеем значение параметра  $M=1,251$ .

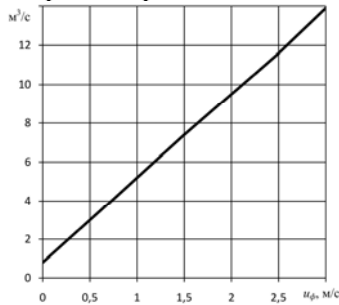
Тогда согласно выражения (5) удельный расход воздуха во всасывающей щели определится следующим образом,  $м^3/ч$

$$L_{щ} = 1,439u_{\phi} + 0,335,$$

а общий расход воздуха, удаляемого отсосом, составит,  $м^3/ч$

$$L_{щ.общ.} = 4,245u_{\phi} + 0,988.$$

Как видно (рис. 1), объем отсасываемого воздуха при прочих равных условиях в значительной степени зависит от скорости восходящего потока вредных выделений  $u_{\phi}$ , изменяется в широких пределах.



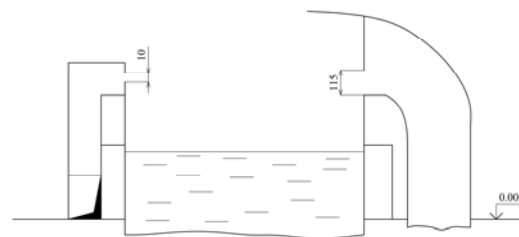
**Рис. 1.** Зависимость объема отсасываемого воздуха активированного отсоса от вертикальной скорости потока вредных выделений

В результате натурных исследований, выполненных на масляном закалочном баке, установлено, что величина  $u_{\phi}$  при всех технологических режимах не превышает 1,5 м/с. С учетом этого требуемый объем удаляемого воздуха составит 7,355  $м^3/с$  (26470  $м^3/ч$ ).

Рекомендуемая схема активированного отсоса закалочного бака представлена на рис. 2.

Для сокращения влияния неорганизованных воздушных потоков в производственном помещении на работу передувки и бортового отсоса в торцах бака следует предусмотреть вертикальные воздухопроницаемые экраны.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Рассмотрены существующие методики расчета бортовых отсосов, обоснованы расходы подаваемого и удаляемого воздуха от бортового отсоса с передувкой. Использование предложенной методики расчета объемов воздуха позволит эффективно удалять вредные выделения и рациональнее подбирать вентиляционное оборудование.



**Рис. 2.** Рекомендуемая схема активированного отсоса закалочного бака

#### Список литературы

1. Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. - М.: Профиздат, 1990. - 448 с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Справочник проектировщика. - М.: Стройиздат, 1977. - 502 с.
3. Гальчинский Я.А. К расчету плоских передувок. - В кн.: Вентиляция в металлургической промышленности. - М.: Металлургия, 1968. - С. 98-103.
4. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических и травильных цехов машиностроительных заводов. - М.: Машиностроение, 1982. - 135 с.
5. Посохин Е.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. - М.: Машиностроение, 1984. - 160 с.
6. Халецкий И.М. Вентиляция и отопление заводов черной металлургии. - М.: Металлургия, 1984. - 240 с.
7. Гольшев А.А. Аналитические исследования аэродинамики системы «передувка - бортовой отсос» / А.А. Гольшев // Вісник Криворізького технічного університету: Кривий Ріг, 2007. - Вип. 19. - С. 176-179.
8. Указания по устройству и расчету местных отсосов и воздушно-струйных укрытий компенсационного типа для основного оборудования предприятий по обработке цветных металлов / ВНИИОТ ВЦСПС. - Свердловск, 1986. - 74 с.
9. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.3 Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1/ В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин, Н.И. Березина и др.; Под ред. Н.Н. Павлова, Ю.И. Шиллера. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1992. - 319 с.
10. Cory W.T.W. Fans & Ventilation. - Elsevier in association with Roles & Associates Ltd., 2005. - 457 p.
11. Goodfellow H. Industrial ventilation design guidebook / Goodfellow H., Tahti E. - Academic press, 2001. - 1555 p.
12. Porges F. HVAC engineer's handbook. - Butterworth Heinemann, 2001. - 297 p.
13. Spotar S.Y., Sorokin A.L. Focusing of the flow capture for local exhaust ventilation systems. American Journal of Applied Sciences, 2010, Vol 7 (6), pp. 732-738.
14. Robinson M., Ingham D. B. Recommendations for the design of push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann. occup. Hyg., 1996, Vol. 40, No. 6, pp. 693-704.
15. Marzali F., Gonzalez E., Minana A., Baeza A. Determination and interpretation of total and transversal linear efficiencies in push-pull ventilation systems for open surface tanks. Ann. occup. Hyg., 2002, Vol. 46, No. 7, pp. 629-635.

Рукопис подано до редакції 14.04.15