

УДК 628.8:656.2

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СООСНОЙ И БОКОВОЙ ВЫТЯЖКИ

© 2005 Ю.А. Лябина¹ П.П. Пурыгин²

В статье представлен графоаналитический метод определения зависимости оптимальной производительности вытяжки от длины струи при различных значениях площади отверстий и тепловой мощности источника конвективной струи.

На ранних стадиях проектирования местной вентиляции возникает необходимость оценить производительность вытяжных вентиляторов.

Предельная производительность стока находится из уравнения количества движения, записанного для соответствующим образом выделенного конечного объема, включающего рассматриваемое течение. Такой подход представляется перспективным, так как, оставляя в стороне подробный анализ характеристик течения, образующегося при взаимодействии струи и стока, позволяет определить производительность вытяжки [1].

Рассмотрим течение плоской турбулентной струи. Расстояние между стоком и приточным насадком равно l . Ширина стока $2b$, ($2b \leq l$), т.е. практически рассматриваем струю-источник. Начало координат помещено в центре приточной щели, ось x направлена к центру отсоса, ось y перпендикулярна ей.

Выделим элемент объема струи, ограниченный двумя сечениями, отстоящими друг от друга на расстояние dx , плоскостью симметрии и имеющий протяженность в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа, равную единице (рис. 1).

В частном случае, если поперечный градиент давления отсутствует, т.е. $\partial P / \partial y = 0$, для течения с одномерным градиентом давления используется

¹Лябина Юлия Анатольевна, кафедра безопасности жизнедеятельности Самарской государственной академии путей сообщений, 443063, Россия, г. Самара, 1-ый Безымянный пер., 18.

²Пурыгин Петр Петрович (purygin2002@mail.ru), кафедра органической химии Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

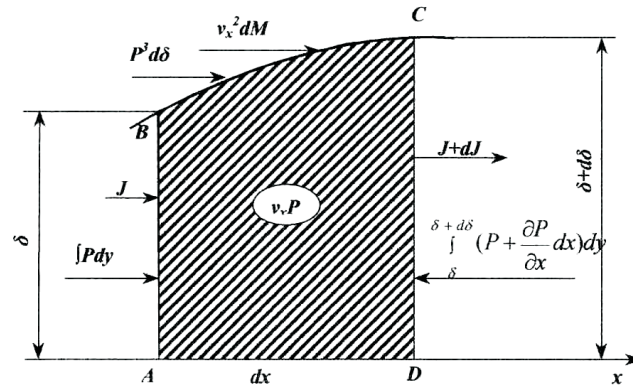


Рис. 1.

интегральное соотношение Кармана

$$\frac{d}{dx} \int_0^\delta \rho \omega_x^2 dy - v_x^\delta \frac{d}{dx} \int_0^\delta \rho \omega_x dy = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \delta. \quad (1)$$

Обычный ход решения интегрального соотношения заключается в том, что на основании общих соображений и граничных условий, вытекающих из физической сущности течения, задаются профилями скорости и касательного напряжения. Далее соотношение решается относительно неизвестной величины — толщины пограничного слоя. Поскольку операция интегрирования уменьшает ошибку, задание приближенных профилей позволяет, тем не менее, найти решение, удовлетворяющее опыту.

Формулы для расчета параметров основного участка приточных осесимметричной и плоской, образующейся при истечении из щелевого отверстия, турбулентных струй получены из решений уравнения (1).

Осевая скорость на расстоянии x от источника:

в осесимметричной струе:

$$u_m = m u_0 \sqrt{f/x}; \quad (2)$$

в плоской струе:

$$u_m = m u_0 \sqrt{2b}/\sqrt{x}. \quad (3)$$

Расход в струе на расстоянии x от места истечения:

в осесимметричной струе:

$$L_{\text{стр}_x} = 0,042m \cdot u_0 \sqrt{fx}; \quad (4)$$

в плоской струе:

$$L_{\text{стр}} = 0,205m \cdot u_0 \sqrt{2b} \sqrt{x}. \quad (5)$$

В зависимости от соотношения размеров и скоростей взаимодействующих потоков конфигурация течения изменяется. Очевидно, больше всего нас должен интересовать случай предельного улавливания, так как соответствующая этому режиму производительность вытяжки и является искомой

величиной. Из сказанного выше можно сформулировать задачу исследования.

Потребную производительность вытяжки можно определить графически, используя формулы (2)–(5).

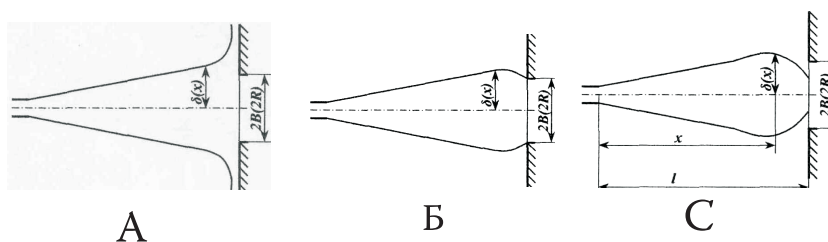


Рис. 2. Взаимодействие соосно расположенных струи и стока: А — неполное улавливание; Б — предельное; В — избыточное

На рис. 3 показана зависимость потребной производительности соосной вытяжки L от расстояния l при значениях начальной скорости в струе $u_0 = 3\text{--}11$ м/с. Полуширина отверстия выхода источника струи $b = 0,35$ м, полуширина отверстия целевой вытяжки $B = 0,5$ м.

На рис. 4 показана зависимость потребной производительности соосной вытяжки L от расстояния l при значениях полуширины отверстия выхода струи $b = 0,35\text{--}0,55$ м. Начальная скорость струи $u_0 = 5$ м/с, полуширина отверстия целевой вытяжки $B = 0,5$ м.

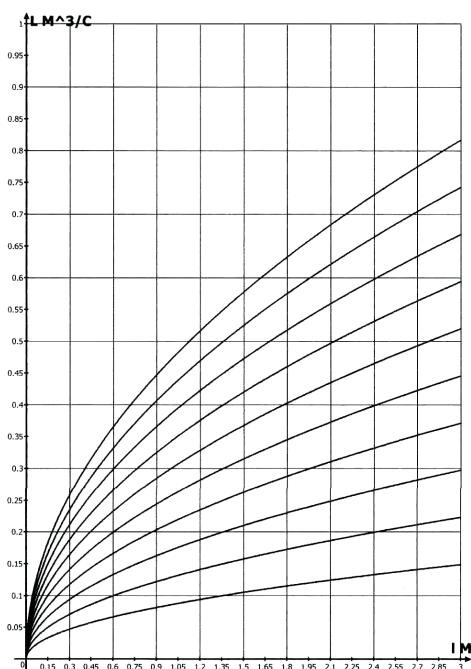


Рис. 3. $u_0 = 3\text{--}11$ м/с; $b = 0,5$ м; $B = 0,5$ м

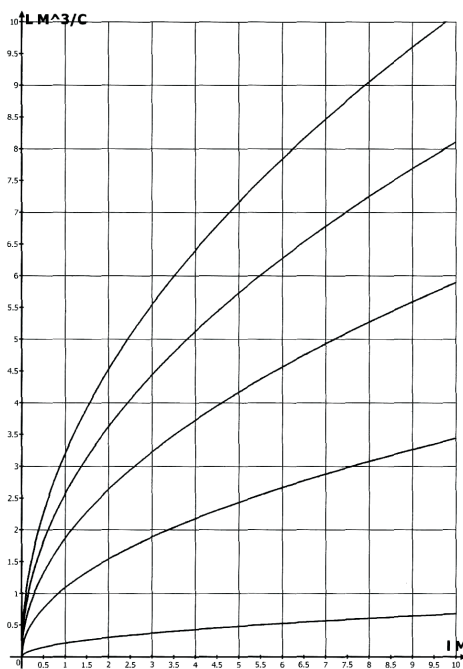


Рис. 4. $b = 0,35\text{--}0,55$ м; $u_0 = 5$ м/с; $B = 0,5$ м

В тех случаях, когда по конструктивным соображениям боковую вытяжку нельзя расположить достаточно близко над теплоисточником и поэтому производительность стока чрезмерно велика, а также когда необходимо отклонять поднимающуюся над теплоисточником струю так, чтобы вредные выделения не попадали в зону дыхания работающего, применяют боковые вытяжки. Для боковой вытяжки в режиме предельного улавливания удаленная граница струи замыкается на верхней кромке стока, а ближняя входит в плоскость стока выше нижней его кромки (рис. 5). Таким образом, струя входит в вытяжку лишь в пределах некоторой "эффективно улавливающей" площади $F_{эф}$, которую охарактеризуем соответствующим размером ($B_{эф}$ — сток в виде щели шириной $2B$; $R_{эф}$ — круглый сток радиуса R).

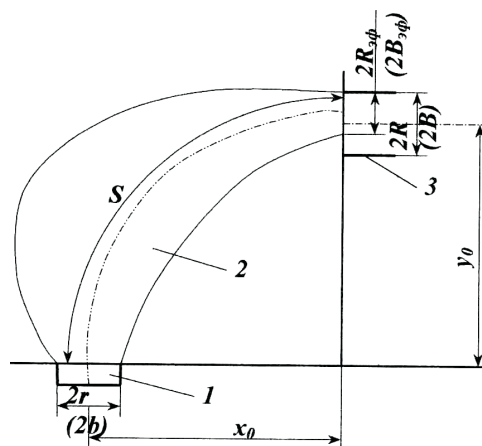


Рис. 5.

На рис. 6 показаны зависимости потребной производительности боковой вытяжки L от расстояния до источника струи s при значениях радиуса отверстия источника $r = 0,3-0,9$ м. Радиус отверстия вытяжки $R = 0,5$ м, тепловая мощность источника $Q = 5$ кВт.

На рис. 7 показаны зависимости потребной производительности боковой вытяжки L от расстояния до источника струи s при значениях радиуса отверстия вытяжки $R = 0,3-0,9$ м. Радиус отверстия источника $r = 0,5$ м, тепловая мощность источника струи $Q = 5$ кВт.

Для бокового стока (рис. 5) потребную производительность вытяжки можно определить графически, используя формулу (6).

$$L_{пр.выт} = 0,086Q^{1/3}(s + 2r)^{5/3}[0,32 + 0,06(B/A)^{2/3}](1 - 0,25\bar{R}^2). \quad (6)$$

Таким образом, разработан графоаналитический метод определения зависимости оптимальной производительности вытяжки от длины струи при различных значениях площади отверстий и тепловой мощности источника конвективной струи.

Литература

- [1] Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984. 156 с.

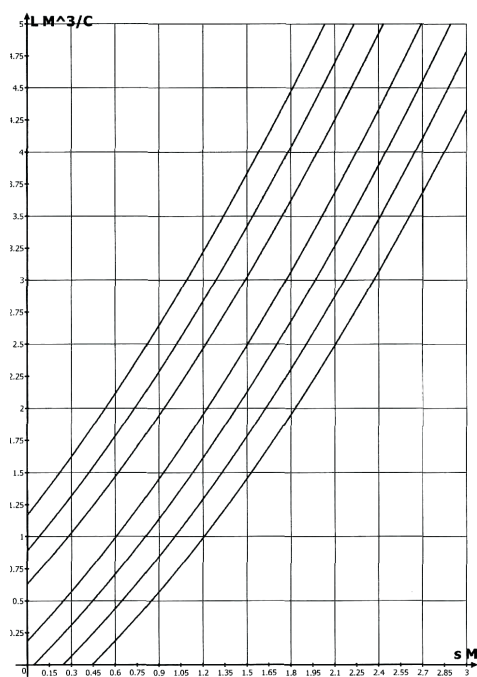


Рис. 6. $r = 0,3-0,9$ м, $R = 0,5$ м. $Q = 5$ кВт

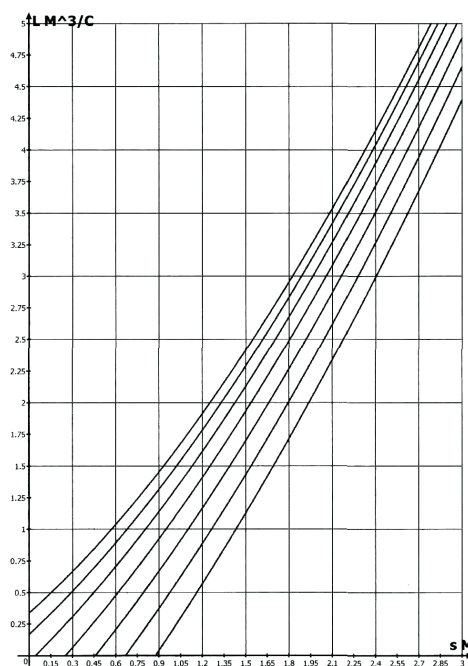


Рис. 7. $R = 0,4-0,9$ м, $r = 0,5$ м. $Q = 5$ кВт

Поступила в редакцию 31/III/2005;
в окончательном варианте — 31/III/2005.

GRAPHOANALYTIC METHOD FOR OPTIMAL RATE DETERMINATION OF COAXIAL AND SIDE ESCAPE

© 2005 Y.A. Lyabina³ P.P. Purygin⁴

In the paper a graphoanalytic method to determine dependence of escape on length of a stream and optimal rate of output is proposed taking account of different values of inlets areas and thermal output of a source of the convective stream.

Paper received 31/III/2005.

Paper accepted 31/III/2005.

³Lyabina Yuliya Anatolievna, Dept. of Safety of Vital Functions, Samara State Academy of Railway Communications, 443063, Samara, Russia.

⁴Purygin Pyotr Petrovich (purygin2002@mail.ru), Dept. of Organic Chemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.

РАДИАЛЬНО РАЗОМКНУТАЯ ВИХРЕВАЯ СТРУЯ В АЭРОДИНАМИКЕ ПОМЕЩЕНИЙ

© 2005 Ю.А. Лябина,¹ П.П. Пурыгин²

Для улучшения параметров воздушной среды предлагается использование устойчивых вихревых структур, которые обеспечивают заданные скорости движения воздуха, сепарирование вредных примесей в приосевой зоне вихря и транспортировку их к нейтрализующим устройствам.

Повышение эффективности вентиляции достигается при помощи радиально разомкнутой противоточной вихревой струи. Закрученные течения являются результатом сообщения потоку спирального движения с помощью генераторов закрутки путем тангенциальной подачи в камеру с формированием окружной компоненты скорости (называемой также тангенциальной скоростью).

Экспериментальные исследования показывают, что закрутка оказывает крупномасштабное влияние на поле течения: на расширение струи, процессы подмешивания и затухания скорости в струе, на траекторию движения и эффективность улавливания витающих частиц. На все эти характеристики влияет интенсивность закрутки потока. Она определяется циркуляцией $\Gamma = V_0 R_0$ на выходе из закручивающего устройства.

Для улучшения параметров воздушной среды предлагается использование устойчивых вихревых структур, которые обеспечивают заданные скорости движения воздуха, сепарирование вредных примесей в приосевой зоне вихря и транспортировку их к нейтрализующим устройствам. Схема организации вихревой вентиляции изображена на рис. 1.

В результате действия стока и находящейся на радиусе $r = a$ тангенциальной к стоку струи между потолком и полом помещения образуется вихревое течение воздуха с вертикальной осью вращения. В периферийном вихре 5 вертикальная составляющая скорости направлена к полу, а в приосевом вихре 6 — к потолку.

¹Лябина Юлия Анатольевна, кафедра безопасности жизнедеятельности Самарской государственной академии путей сообщений, 443063, Россия, г. Самара, 1-ый Безымянный пер., 18.

²Пурыгин Петр Петрович (purygin2002@mail.ru), кафедра органической химии Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

При вихревом течении воздуха концентрация вредных веществ в нем распределяется с максимальным значением вблизи его оси, на поверхности приосевого вихря, независимо от расстановки оборудования и занимаемой им площади.

Вблизи оси вихря создается пониженное давление — разрежение, способствующее движению загрязненного воздуха от периферии к оси и выносу вредных веществ вертикальным потоком вверх к воздуховытяжному устройству.

Для определения распределения давлений и скоростей рассмотрим уравнение установившегося кругового движения вязкой несжимаемой жидкости [1].

Уравнение Навье—Стокса можно записать в виде

$$r^2 R \frac{\partial}{\partial R} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \Gamma}{\partial R} \right) - \frac{V_Z R}{\nu} \frac{\partial \Gamma}{\partial R} = 0 \quad (1)$$

где $\Gamma = V_\tau R$ — циркуляция скорости.

Уравнению (1) удовлетворяют функции:

а) циркуляции скорости

$$\Gamma = \Gamma(R); \quad (2)$$

б) радиальной скорости

$$V_R = \frac{Q}{R} f(R); \quad (3)$$

в) осевой скорости

$$V_Z(R, Z) = -\frac{2QL}{R^2} \left(\frac{Z}{L} \frac{\partial f}{\partial R} + F(R) \right); \quad (4)$$

г) распределения давления

$$P(R, Z) = \frac{1}{2} V_Z^2 + P_1(R). \quad (5)$$

Зависимости (4) и (5) следуют из уравнений неразрывности и движения в проекции на ось Z .

Предполагая распределение скоростей в виде

$$V_R = -AR, \quad V_Z = 2AZ,$$

получим распределение тангенциальной скорости

$$V_\tau = \frac{\Gamma}{2\pi R} \left(1 - \exp\left(-\frac{AR^2}{2\nu}\right) \right). \quad (6)$$

Распределение скоростей в вихревой структуре зависит от граничных условий; производительности вентилятора Q и площадей воздуховытяжного устройства и выхода вентилятора. Они подбираются таким образом, чтобы на уровне рабочей зоны рассчитанные из уравнения (1) скорости не превышали допустимых по нормам ГОСТа. С другой стороны, уменьшение скоростей нежелательно из условий снижения устойчивости вихревой структуры и эффективности отделения и транспортировки вредных веществ.

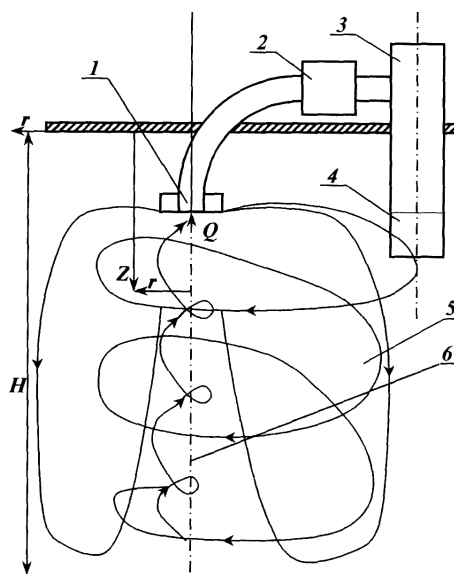


Рис. 1. Схема организации вихревой вентиляции

Вихревая разомкнутая противоточная струя использована в разработанном Новосибирским институтом теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН аппарате "Веер".

На рис. 2 изображена конструкция завихрителя и зависимости изменения скорости потока от расстояния до начала струи для закрученной и незакрученной струи.

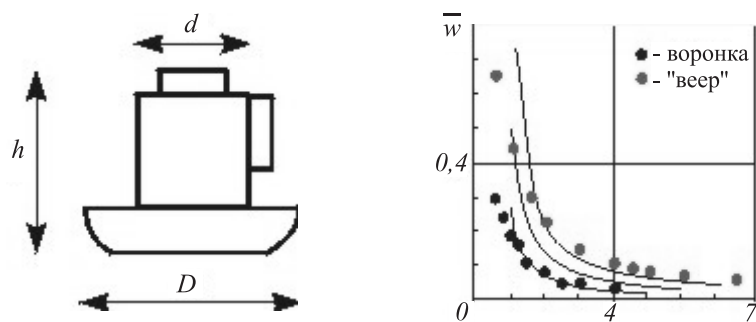


Рис. 2. Дальность захвата вредных веществ

Дальнобойность и зона действия закрученной струи почти в два раза превышает параметры незакрученной.

На основании решения (6) уравнения (1) предлагается расчетно-графический метод определения параметров радиальной разомкнутой противоточной вихревой струи.

На рис. 3 представлена зависимость величины тангенциальной скоро-

сти V от глубины проникновения вихревой струи из предположения, что угол раскрытия струи $\varphi = 45^\circ$, тогда $z = R$. Начальная скорость истечения из закручивающего устройства $u_0 = 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11$ м/с. Радиус закручивающего устройства $R_0 = 0,5$ м.

На рис.4 представлена зависимость величины тангенциальной скорости V от глубины проникновения вихревой струи из предположения, что угол раскрытия струи $\varphi = 45^\circ$, тогда $z = R$. Радиус закручивающего устройства $R_0 = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1$ м. Начальная скорость истечения из закручивающего устройства $u_0 = 5$ м/с.

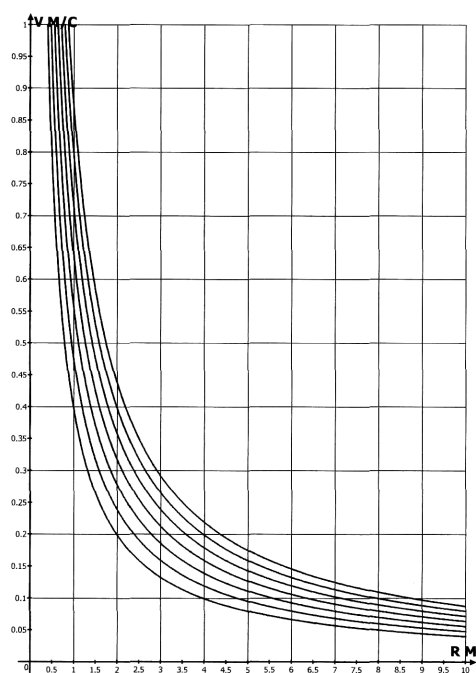


Рис. 3. $u_0 = 5 - 11$ м/с; $R_0 = 0,5$ м

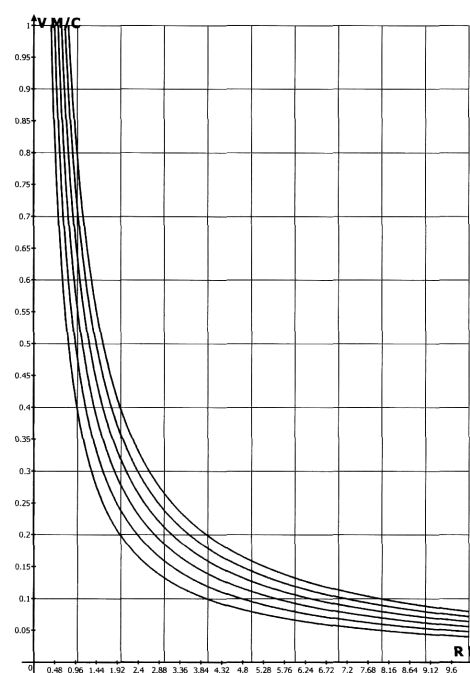


Рис. 4. $R_0 = 0,5 - 1,1$ м; $u_0 = 5$ м/с

Аэродисперсные системы пыли, дыма, тумана состоят из совокупности частиц разных размеров. Частицы практически мгновенно приобретают скорость, близкую к скорости среды в вихре. Для уноса частиц необходимо, чтобы скорость потока превышала скорость витания, при которой частицы находятся во взвешенном состоянии.

Особенно неблагоприятные условия труда наблюдаются при электросварочных работах, выполняемых в замкнутых пространствах (цистернах и т.п.). Быстрое скопление газов и сварочного аэрозоля здесь характеризуется высокими концентрациями токсичных веществ, причем эффективная вентиляция сопряжена с техническими трудностями.

Наиболее тяжелые условия труда наблюдаются при сварке котлов небольших объемов, так как выделяющиеся сварочные газы и пыль быстрее заполняют меньшие объемы. Содержание сварочного аэрозоля в возду-

хе внутри цистерн неравномерно по высоте, оно значительно увеличивается кверху.

Поэтому при сварке в котлах цистерн общее вентилирование следует считать наиболее целесообразным оздоровительным мероприятием. Для этой цели возможно использование вытяжного патрубка в виде цилиндрического спуска, установленного по центру отверстия в колпаке цистерны.

Наблюдения за движением воздушных потоков позволили установить, что основная масса поступающего воздуха не участвует в вентилировании котла, так как удаляется, не успев распространиться по всему котлу. Таким образом, из всего пространства, ограниченного стенками котла, интенсивному проветриванию подвергается только очень небольшая часть между отверстиями притока и стока, и необходимого санитарно гигиенического эффекта достигнуть не удастся. Удовлетворительный воздухообмен замкнутого пространства цистерн также не может быть осуществлен и с помощью активной вытяжки воздуха посредством применения гибких рукавов, заводимых через наливные отверстия. При расположении заборного отверстия гибкого шланга в непосредственной близости от сварочной дуги, по мере увеличения расстояния между местом сварки и свободным торцом шланга эффективность вытяжки значительно снижается, содержание пыли в удаляемом воздухе приближается к средним концентрациям ее в замкнутом пространстве.

Необходимость эффективной вентиляции возникает при окраске и обработке внутренних поверхностей замкнутых объемов. На завершающем этапе слива из цистерны нефтепродуктов интенсивная вентиляция с конденсацией паров позволяет уменьшить потери и увеличить безопасность процесса.

Для решения поставленных задач целесообразно использовать вихревое движение воздуха с обратными токами. На рис. 5 изображена схема работы предлагаемого устройства.

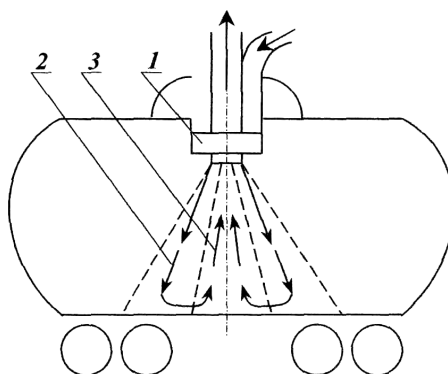


Рис. 5. Схема работы вихревой вентиляции цистерны

Завихритель 1 вводится в цистерну через верхний заправочный люк. Образуется вихревое течение воздуха, в котором вертикальная составляющая

скорости в периферийном вихре 2 направлена вниз, а в приосевом вихре 3 — к завихрителю. Это позволяет увеличить эффективность вентиляции, не загромождая внутренний объем цистерны.

При работе сварочного поста с нижней вытяжкой для захвата образующейся конвективной струи необходима высокая производительность вытяжного вентилятора. Направленная вверх, разомкнутая закрученная струя позволяет повысить эффективность вытяжки.

Созданная вихревая структура может быть использована в качестве воздушной завесы в тамбуре или технологическом проеме для кондиционирования рабочего места.

Литература

- [1] Дейч М.Е. Техническая газодинамика. М.: Энергия, 1974 592 с.
- [2] (ГОСТ 12.1.005-88 (1991) ССБТ “Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования”) М., 1991.
- [3] Информационный листок. Вихревой аппарат местного отсоса “Веер”, фирма “Вихревые технологии”. Разраб. Ин-т теплофизики СО РАН им. С.С.Кутателадзе. Новосибирск, 2002.
- [4] Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 183 с.

Поступила в редакцию 31/III/2005;
в окончательном варианте — 31/III/2005.

RADIALLY OPENLOOP VORTEX STREAM IN AERODYNAMICS OF ROOMS

© 2005 Y.A. Lyabina³ P.P. Purygin⁴

In the present study a technique for refinement of aerial environment characteristics based on the usage of stable vortex structures is proposed. These structures afford preset air velocities, separation of contaminating impurities near the center of the vortex stream and their transportation to neutralizing systems.

Paper received 31/III/2005.

Paper accepted 31/III/2005.

³Lyabina Yuliya Anatolivna, Dept. of Safety of Vital Functions, Samara State Academy of Railway Communications, Samara, 443063, Russia.

⁴Purygin Pyotr Petrovich (purygin2002@mail.ru), Dept. of Organic Chemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.